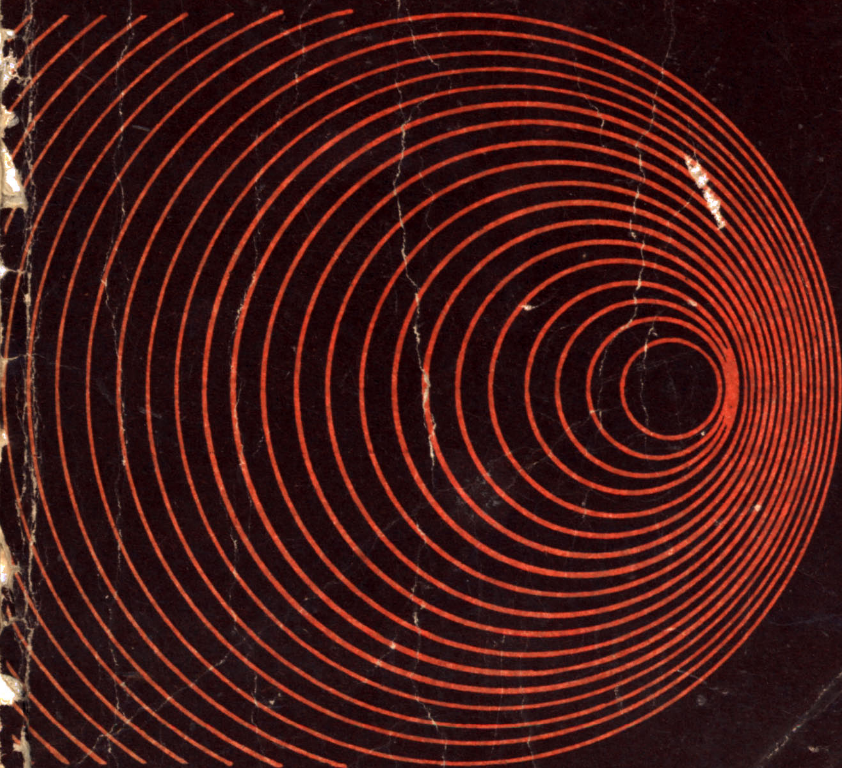
Radiotechnika

WZORY · DEFINICJE · OBLICZENIA

Leonard Niemcewicz



WYDAWNICTWA KOMUNIKACJI I ŁĄCZNOŚCI

Inż. L. NIEMCEWICZ

RADIOTECHNIKA

WZORY
DEFINICJE
OBLICZENIA



WYDAWNICTWA KOMUNIKACJI i ŁĄCZNOŚCI

Okładka została wykonana w ramach P. P. PSP
projektował R. DUSZEK

W książce są podane podstawowe wzory i zależności z matematyki, elektrotechniki, radiotechniki oraz dziedzin pokrewnych jak elektroakustyka, miernictwo i kable. Zamieszczono przykłady obliczeniowe najważniejszych wielkości i zależności oraz tablice i wykresy ułatwiające dobór elementów i parametrów.

Książka jest przeznaczona dla radioamatorów oraz uczniów szkół radiotechnicznych.

Opiniodawca
mgr inż. Z. HRYNIEWIECKI

Redaktor merytoryczny
mgr inż. S. WENDA

Redaktor techniczny
ANNA MONIŃSKA

Korektor
JADWIGA GILEWICZ

WYDAWNICTWA KOMUNIKACJI I ŁĄCZNOŚCI – WARSZAWA 1965

Wydanie pierwsze. Nakład 30 000 + 200 egz. Ark. wyd. 11. Ark. druk. 6,25. Oddano do składania 4. VIII. 1964. Podpisano do druku w lutym 1965. Druk ukończono w marcu 1965. Papier druk. sat. kl. V 70 g 70×100 z fabryki w Częstochowie.
Zam. P/175/64. K–4474. Cena zł 18,–

Zakłady Graficzne im. M. Kasprzaka w Poznaniu – 1583/64 – M-1

SPIS TREŚCI

PRZEDMOWA

Działalność praktyczna radiotechnika i radioamatora jest ściśle związana z teorią. Przebiegi elektryczne są niedostępne naszym zmysłom bezpośrednio, dlatego radiotechnik musi korzystać z przyrządów pomiarowych, za pomocą których może mierzyć i obserwować zjawisku elektryczne. Nie wszystko jednak można lub trzeba pomierzyć, często znacznie szybciej otrzymuje się wynik dzięki obliczeniom. Do tego celu służą różne zależności między wielkościami elektrycznymi.

Zazwyczaj radiotechnik w swej pracy warsztatowej przeprowadza obliczenia niezbyt chętnie, gdyż słusznie uważa, że jego podstawowym zadaniem jest doprowadzenie urządzenia do takiego stanu, jaki przewidywał dla niego konstruktor. W tym celu wartości elementów nie musi on obliczać, lecz wystarczy, jeśli je znajdzie w odpowiednim schemacie. Pomiędzy radiokonstruktorem a remontującym sprzęt radiowy nastąpił swoisty podział zadań: pierwszy z nich konstruuje, mierzy i oblicza, drugi stara się otrzymane parametry poszczególnych elementów lub zespołów utrzymać na nie zmienionym poziomie w czasie eksploatacji.

Taki podział zadań nie zawsze daje się jednak utrzymać. Do naprawy trafiają urządzenia dla których brak jest schematów. Wiele elementów zmienia swoje wartości pod wpływem temperatury i czasu, często uszkodzone elementy nie są już więcej produkowane. W takich przypadkach sięga praktyk do obliczeń. Nie przeprowadza tych obliczeń jednak w ten sposób, jak to czyni konstruktor, lecz korzysta z zależności uproszczonych, dających wartości przybliżone, całkowicie jednak wystarczające dla celów warsztatowych

Ta książka ma na celu podanie w gotowej formie wzorów matematycznych. za pomocą których każdy praktyk będzie mógł w znacznym stopniu ułatwić sobie obliczenia i szybko otrzymać właściwe wartości.

Uczniom książka ta powinna pomóc w nauce.

Autor

MATEMATYKA

ZNAKI I SYMBOLE MATEMATYCZNE

$=$ równa się
$\equiv$ jest równoważne
$\neq$ jest różne
$\approx$ w przybliżeniu równe
$<$ mniejsze
$>$ większe
$\leqslant$ mniejsze lub równe
$\geqslant$ większe lub równe
$\ll$ znacznie mniejsze
$\gg$ znacznie większe
$|a|$ wartość bezwzględna liczby a
$+$ plus (znak dodawania)
$-$ minus (znak odejmowania)
$\cdot$ lub $\times$ znak mnożenia (często znak ten opuszcza się np. zamiast $a \cdot b$ lub $a \times b$ pisze się ab)
$:$ lub $—$ znak dzielenia $\left(a:b \text{ lub } \frac{a}{b}\right)$
a^m a podniesione do potęgi m
$\sqrt{\ }$ pierwiastek kwadratowy
$\sqrt[n]{\ }$ pierwiastek n-tego stopnia
lg b logarytm o podstawie b
lg logarytm dziesiętny
ln logarytm naturalny
(), [], {} nawiasy
! silnia, np. $6! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6 = 720$
$\perp$ jest prostopadły do
$\parallel$ jest równoległy do
$\#$ jest równy i równoległy
$\sim$ znak podobieństwa, proporcjonalności
$\triangle$ trójkąt
$\overset{\frown}{AB}$ łuk AB
$^\circ$ stopień
$'$ minuta
$''$ sekunda
sin sinus
cos kosinus
tg tangens
ctg kotangens
sec sekans
cosec kosekans
arc sin arksinus
arc cos arkkosinus
arc tg arktangens
arc ctg arkkotangens
sinh sinus hiperboliczny
cosh kosinus hiperboliczny
tgh tangens hiperboliczny
ctgh kotangens hiperboliczny
const wielkość stała
$\pi = 3{,}14159...$
e $= 2{,}71828...$
lim granica
$\rightarrow$ dąży do ...
∞ nieskończoność
Σ suma
$f(), \varphi()$ symbole funkcji
Δ przyrost

d	różniczka
∂	różniczka cząstkowa
$'$ $''$ $'''$	pochodne funkcji (pierwsza, druga, trzecia)
$\int$	całka
i, j	jedność urojona, $\sqrt{-1}$
$\lvert a \rvert$	moduł liczby zespolonej a
arg a	argument liczby zespolonej a
$\overrightarrow{AB}$; $\vec{a}$; $\vec{b}$	oznaczenia wektorów
$\vec{i}$; $\vec{j}$; $\vec{k}$	oznaczenia wektorów jednostkowych (wersorów) w układzie prostokątnym
$\vec{a}\vec{b}$	iloczyn skalarny dwóch wektorów
$\vec{a}\times\vec{b}$	iloczyn wektorowy dwóch wektorów
grad	gradient pola skalarnego
div	diwergencja pola wektorowego
rot	rotacja pola wektorowego

Niektóre częściej spotykane wartości stałych

Stała	n	lg n	Stała	n	lg n
π	3,141593	0,49715	$1:\pi$	0,318310	$\bar{1}$,502885
2π	6,283185	0,798118	$1:2\pi$	0,159155	$\bar{1}$,20182
3π	9,424778	0,974227	$1:3\pi$	0,106103	$\bar{1}$,02573
4π	12,566371	1,09921	$1:4\pi$	0,079577	$\bar{2}$,90079
$\pi:2$	1,570796	0,196112	$2:\pi$	0,636620	$\bar{1}$,80388
$\pi:3$	1,047198	0,02003	$3:\pi$	0,954930	$\bar{1}$,97997
$\pi:4$	0,785398	$\bar{1}$,89509	$4:\pi$	1,273240	0,10491
$\pi:6$	0,523599	$\bar{1}$,71900	$6:\pi$	1,909859	0,28100
$\pi:180\ (=1^\circ)$	0,017453	$\bar{2}$,24188	$180^\circ:\pi$	57,295780°	1,75812
$\pi:\ 10\,800\ (=1')$	0,000291	$\bar{4}$,46373	$10\,800:\pi$	3437,7468′	3,53627
$\pi:648\,000\ (=1'')$	0,000005	$\bar{6}$,68557	$648\,000:\pi$	206264,81″	5,31443
π^2	9,869604	0,99430	$1:\pi^2$	0,101321	$\bar{1}$,00570
$\sqrt{\pi}$	1,772454	0,24857	$\sqrt{1:\pi}$	0,564190	$\bar{1}$,75143
$\sqrt{2\pi}$	2,506628	0,39909	$\sqrt{1:2\pi}$	0,398942	$\bar{1}$,60091
$\sqrt{\pi:2}$	1,253314	0,09806	$\sqrt{2:\pi}$	0,797885	$\bar{1}$,90194
$\sqrt[3]{\pi}$	1,464592	0,16572	$\sqrt[3]{1:\pi}$	0,682784	$\bar{1}$,83428
$\sqrt[3]{4\pi:3}$	1,611992	0,20736	$\sqrt[3]{3:4\pi}$	0,620350	$\bar{1}$,79264
e	2,718282	0,43429	1:e	0,367879	$\bar{1}$,56571
e^2	7,389056	0,86859	$1:e^2$	0,135335	$\bar{1}$,13141
$\sqrt{e}$	1,648721	0,21715	$\sqrt{1:e}$	0,606531	$\bar{1}$,78285
$\sqrt[3]{e}$	1,395612	0,14476	$\sqrt[3]{1:e}$	0,716532	$\bar{1}$,85524
$e^{\pi/2}$	4,810477	0,68219	$e^{-\pi/2}$	0,207880	$\bar{1}$,31781
e^{π}	23,140693	1,36438	$e^{-\pi}$	0,043214	2,63562
$e^{2\pi}$	535,491656	2,72875	$e^{-2\pi}$	0,001867	$\bar{3}$,27125
			ln π	1,144730	0,05870
M=lg e	0,434294	1,63778	1:M=ln 10	2,302585	0,36222
g*)	9,81	0,99167	1:g	0,10194	$\bar{1}$,00833
g^2	96,2361	1,98334	1:2g	0,050968	2,70730
$\sqrt{g}$	3,13209	0,49583	$\pi\sqrt{g}$	9,83976	0,99298
$\sqrt{2g}$	4,42945	0,64635	$\pi\sqrt{2g}$	13,91552	1,14350

*) g – przyspieszenie grawitacyjne ziemskie w [m/sek^2]

GRECKI ALFABET

A	α	alfa	N	ν	ni
B	β	beta	Ξ	ξ	ksi
Γ	γ	gamma	O	o	omikron
Δ	δ	delta	Π	π	pi
E	ε	epsilon	P	ρ	ro
Z	ζ	dzeta	Σ	σ	sigma
H	η	eta	T	τ	tau
Θ	ϑ	teta	Y	υ	ypsilon
I	ι	jota	Φ	φ	fi
K	ϰ	kappa	X	χ	chi
Λ	λ	lambda	Ψ	ψ	psi
M	μ	mi	Ω	ω	omega

ALFABET ROSYJSKI (GRAŻDANKA)

А	A	О	O
Б	B	П	P
В	W	Р	R
Г	G	С	S
Д	D	Т	T
Е	Je	Ф	F
З	Z	Х	Ch
Ж	Ż	Ч	Cz
И	I	Щ	Szcz
К	K	Ц	C
Л	Ł	Э	E
М	M	Ю	Ju
Н	N	Я	Ja

Niektóre charakterystyczne wielkości fizyczne

Nazwa	Symbol	Wartość	Jednostka
Prędkość światła w próżni	c	$2{,}9979 \cdot 10^{10}$	cm/sek
Przenikalność magnetyczna próżni	μ_0	$1{,}25664 \cdot 10^{-8}$	H/cm
Przenikalność dielektryczna próżni	ε_0	$0{,}88542 \cdot 10^{-13}$	F/cm
Oporność falowa próżni	Z_0	376,78	Ω
Temperatura zera absolutnego	T_0	−273,16	°C

c.d.

Nazwa	Symbol	Wartość	Jednostka
Przyspieszenie ziemskie	g	980,665	cm/sek^2
Stała grawitacyjna	f	$6{,}670 \cdot 10^{-8}$	$cm^3/g \cdot sek^2$
Stała Boltzmanna	k	$1{,}380 \cdot 10^{-16}$	erg/°C
Stała Plancka	h	$6{,}625 \cdot 10^{-27}$	erg·sek
Stała Stefana-Boltzmanna	σ	$5{,}668 \cdot 10^{-5}$	$erg/cm^2 C^4 \cdot sek$
Elementarny ładunek elektryczny e	—	$1{,}602 \cdot 10^{-19}$	C
Elektromechaniczny równoważnik cieplny	—	0,2389	cal/W sek
Energetyczny równoważnik masy	—	$8{,}987 \cdot 10^{20}$	erg/g
Elektronowolt	—	$1{,}602 \cdot 10^{-12}$	erg
Długość fali Comptona	$h/m_0 \cdot c$	0,024426	Å
Magneton Bohra	μ_B	$9{,}274 \cdot 10^{-21}$	$Oe \cdot cm^3$
Magneton jądra	μ_k	$5{,}050 \cdot 10^{-24}$	$Oe \cdot cm^3$
Promień toru elektronu wodoru	r	$5{,}292 \cdot 10^{-9}$	cm
Stała gazowa	R	$8{,}3144 \cdot 10^{7}$	erg/C·mol
Stała Lohshmidta	L	$6{,}023 \cdot 10$	molekuł/mol
Objętość molowa (0°C; 760 tor)	—	$22{,}414 \cdot 10^{6}$	cm^3/mol
Stała Faradaya	F	94494	C

PRZEDROSTKI ZWIĘKSZAJĄCE LUB ZMNIEJSZAJĄCE ZASADNICZE JEDNOSTKI

T	Tera	=	10^{12}	=	1 000 000 000 000
G	Giga	=	10^{9}	=	1 000 000 000
M	Mega	=	10^{6}	=	1 000 000
k	Kilo	=	10^{3}	=	1 000
h	Hekto	=	10^{2}	=	100
D	Deka	=	10^{1}	=	10
d	Decy	=	10^{-1}	=	0,1
c	Centy	=	10^{-2}	=	0,01
m	Mili	=	10^{-3}	=	0,001
μ	Mikro	=	10^{-6}	=	0,000 001
n	Nano	=	10^{-9}	=	0,000 000 001
p	Piko	=	10^{-12}	=	0,000 000 000 001

ALGEBRA

REGUŁY PODSTAWOWE

$a + b = c$
$a + b = b + a$
$a - b = c$
$a - a = 0$
$a + (-b + c - d) = a - b + c - d$
$a - (b - c + d) = a - b + c - d$
$a - 0 = a + 0 = a$
$a \cdot b = ab = c$
$a(b + c) = ab + ac$
$a(b - c) = ab - ac$
$(a - b)(c - d) = ac - bc - ad + bd$
$a \cdot 0 = b \cdot 0 = 0$

$$a:b = \frac{a}{b} = c$$

$$\frac{a}{b} = \frac{a \cdot c}{b \cdot c}$$

$$\frac{a}{b} = \frac{\frac{a}{c}}{\frac{b}{c}}$$

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{ac}{bd}$$

$$\frac{a}{b} : \frac{c}{d} = \frac{a}{b} \cdot \frac{d}{c}$$

$$\frac{a}{b} + \frac{c}{d} = \frac{ad}{bd} + \frac{bc}{bd} = \frac{ad + bc}{bd}$$

$$\frac{a}{b} - \frac{c}{d} = \frac{ad}{bd} - \frac{bc}{bd} = \frac{ad - bc}{bd}$$

$a^n = a \cdot a \cdot a \ldots\ a$ (n czynników)
$a^m \cdot a^n = a^{m+n}$
$a^m : a^n = a^{m-n}$
$a^m \cdot b^m = (a \cdot b)^m$

$$a^m : b^m = \left(\frac{a}{b}\right)^m \quad (b \neq 0)$$

$$(a^m)^n = a^{m \cdot n} = (a^n)^m$$

$$1 : a^m = \left(\frac{1}{a}\right)^m = a^{-m}$$

$$a^0 = 1 \quad (a \neq 0)$$

$$a^1 = a; \qquad a^{-n} = \frac{1}{a^n} \quad (a \neq 0)$$

$(a \pm b)^2 = a^2 \pm 2ab + b^2$
$(a \pm b)^3 = a^3 \pm 3a^2 b + 3ab^2 \pm b^3$
$(a + b)(a - b) = a^2 - b^2$

$$(a + b + c)^2 = a^2 + b^2 + c^2 + 2ab + 2ac + 2bc$$

PRZEKSZTAŁCANIE WZORÓW

Każdy wzór jest podawany w postaci pewnego równania. Wielkość nie znana, którą należy obliczyć znajduje się zazwyczaj po lewej stronie znaku równości. Jeżeli z jakichkolwiek względów wielkość ta znajduje

się na stronie prawej, należy ją przenieść na stronę lewą, przy zastosowaniu jednak takich operacji matematycznych, aby cała zależność nie zmieniła swego charakteru.

Każda zmiana po jednej stronie równania musi wywołać odpowiednią zmianę po drugiej stronie równania.

$a = x + b$	$x + b = a$	
$a = x \cdot b$	$x \cdot b = a$	
$x + b = a$	$x + b - b = a - b$	$x = a - b$
$x - b = a$	$x - b + b = a + b$	$x = a + b$
$x \cdot b = a$	$\dfrac{x \cdot b}{b} = \dfrac{a}{b}$	$x = \dfrac{a}{b}$
$\dfrac{x}{b} = a$	$\dfrac{x \cdot b}{b} = a \cdot b$	$x = a \cdot b$
$\sqrt{x} = a \cdot b$	$(\sqrt{x})^2 = (a \cdot b)^2$	$x = a^2 \cdot b^2$
$x^2 = a \cdot b$	$\sqrt{x^2} = \sqrt{a \cdot b}$	$x = \sqrt{a} \cdot \sqrt{b}$

$$\sqrt[n]{a \cdot b} = \sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b};$$

$$\sqrt[m]{a} : \sqrt[n]{b} = \sqrt[mn]{\frac{a^n}{b^m}};$$

$$\sqrt[m]{a} \cdot \sqrt[n]{b} = \sqrt[nm]{a^n \cdot b^m};$$

$$\sqrt[n]{a^m} = a^{\frac{m}{n}};$$

$$\sqrt[n]{\frac{a}{b}} = \frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}};$$

$$(\sqrt[n]{a})^m = \sqrt[n]{a^m} = a^{\frac{m}{n}};$$

$$\sqrt[m]{\sqrt[n]{a}} = \sqrt[mn]{a}.$$

LOGARYTMOWANIE

Jeśli $a^x = N$, to $x = \lg_a N$ (a więc $a^{\lg_a N} = N$), gdzie:

N — dowolna liczba ($N > 0$);
a — zasada logarytmu ($a > 0$, $a \neq 1$);
x — (wykładnik potęgi) — logarytm liczby N przy zasadzie a.

$a = 10$ przy logarytmach dziesiętnych (Briggsa), zwanych także zwyczajnymi, symbol „lg";

$a = e = 2{,}71828 \ldots$ przy logarytmach naturalnych (Nepera), symbol „ln".

Każda liczba dodatnia ma logarytm; liczby ujemne i zero logarytmu nie mają.

$\lg_a 1 = 0$; $\quad \lg_a x \to -\infty$; gdy $x \to 0$ $\quad \lg_a x \to \infty$; gdy $x \to \infty$

$\lg_a a = 1$; $\quad \lg_a(mn) = \lg_a m + \lg_a n$;

$$\lg_a \frac{m}{n} = \lg_a m - \lg_a n; \qquad \lg_a n^r = r \lg_a n;$$

$$\lg_a \sqrt[r]{n} = \lg_a n^{\frac{1}{r}} = \frac{1}{r} \lg_a n; \qquad \lg_a \sqrt[r]{n^p} = \lg_a n^{\frac{p}{r}} = \frac{p}{r} \lg_a n.$$

Przejście od jednego rodzaju logarytmów do drugiego dokonuje się na podstawie wzorów:

$\lg_a N = \frac{\lg_b N}{\lg_b a} = M \lg_b N$; gdzie $M = \frac{1}{\lg_b a}$ jest modułem przejścia od logarytmu przy zasadzie b do logarytmu przy zasadzie a;

$$\lg_a N \cdot \lg_N a = 1; \qquad \ln 10 \lg_{10} e = 1;$$

$$\ln 10 = \frac{1}{\lg_{10} e}; \qquad \lg_{10} e = \frac{1}{\ln 10}.$$

Wobec tego, że moduł przejścia od logarytmów naturalnych do dziesiętnych $M = \frac{1}{\ln 10} = 0{,}434294 \ldots$, przy przejściu zaś odwrotnym

$M = \frac{1}{\lg_{10} e} = 2{,}302585 \ldots$,

przeto:

$$\ln N = \frac{1}{\lg_{10} e} \lg_{10} N = 2{,}302585 \ldots \cdot \lg_{10} N;$$

$$\lg_{10} N = \frac{1}{\ln 10} \ln N = 0{,}434294 \ldots \cdot \ln N.$$

$$\lg 10^{\pm r} = \pm r;$$

$$\lg(N \cdot 10^r) = \lg N + r;$$

$$\lg \frac{N}{10^r} = \lg N - r.$$

Logarytm dziesiętny liczby $N > 1$ jest dodatni.
Logarytm dziesiętny liczby $0 < N < 1$ jest ujemny.
Logarytm dziesiętny liczby $N = 1$ jest równy zeru.

Jeżeli liczba jest mniejsza od jedności, można jej logarytm obliczyć według tego wzoru:

Np. $\lg 0{,}002578 = \lg \frac{2578}{10^6} = 3{,}4113 - 6 = -2{,}5887$

albo $\lg 0{,}002578 = 3{,}4113 - 6 = -3 + 0{,}4113 = \overline{3}{,}4113$

Tablice logarytmów dziesiętnych lub zwyczajnych podają tylko tzw. mantysy logarytmów, tj. część ułamkową dodatnią logarytmu liczb całkowitych większych od jedności.

Logarytmy liczby 10^r razy większych lub 10^r razy mniejszych określamy na podstawie wzorów.

Przy posiłkowaniu się tablicami logarytmów otrzymuje się więc z nich dla pewnej liczby N mantysę logarytmów (ułamek dziesiętny zawsze dodatni), cechę zaś albo inaczej charakterystykę logarytmu (liczbę całkowitą dodatnią, ujemną lub równą 0) należy określić w następujący sposób:

przy $N > 1$

cecha logarytmu jest liczbą dodatnią o jeden mniejszą od ilości cyfr stojących w liczbie N przed przecinkiem dziesiętnym. Np.: $\lg 4528 = 3 + 0{,}6559 = 3{,}6559$

przy $0 < N < 1$

cecha logarytmu jest liczbą ujemną równą ilości zer stojących w liczbie N przed pierwszą cyfrą znaczącą, wliczając również zero przed przecinkiem dziesiętnym.

Np.: $\lg 0{,}0004528 = -4 + 0{,}6559 = \overline{4}{,}6559$.

Przykłady:

1) $\lg 4238 = \lg 4230 + \text{poprawka} = 3{,}6263 + \frac{0{,}0011 \cdot 8}{10} =$
$= 3{,}6263 + 0{,}0009 = 3{,}6272$, gdzie 0,0011 obliczona z tablic różnica między mantysami logarytmów dla liczb 4230 i 4240.

2) $\lg 0{,}0005735 = \overline{4}{,}7582 + \frac{0{,}0007 \cdot 5}{10} = \overline{4}{,}7582 + 0{,}0004 = \overline{4}{,}7586$,
gdzie 0,0007 obliczona z tablic różnica między mantysami logarytmów dla liczb 5730 i 5740.

3) $\lg N = 3{,}6272$; $\lg N - \lg 4230 = 3{,}6272 - 3{,}6263 = 0{,}0009$; obliczona z tablic różnica między mantysami logarytmów dla liczb 4230 i 4240 wynosi 0,0011;
$(0{,}0009 : 0{,}0011) \cdot 10 = 8$; $N = 4238$.

Logarytmy naturalne liczb (zasada $e = 2{,}71828183$).

Przykłady

$\ln 52434 = \ln 524{,}34 + \ln 100 = 6{,}2621 + 4{,}6052 = 10{,}8673$;
$\ln 0{,}02612 = \ln 261{,}2 - \ln 10^4 = 5{,}5653 - 4 \cdot 2{,}3026 = -3{,}6451$;
$\ln N = 8{,}7151$; $\ln N - \ln 10 = 8{,}7151 - 2{,}3026 = 6{,}4125$;
$N = 6094$.

Uwaga: dla wartości N pośrednich między podanymi w tablicach znajdujemy ln interpolując liniowo.

Wzór	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$
$(1+x)^2 \approx 1+2x$	0,07	0,022	0,007
$(1+x)^3 \approx 1+3x$	0,04	0,012	0,004
$\sqrt{1+x} \approx 1+{}^1/_2x$	0,19	0,062	0,020
$\sqrt[3]{1+x} \approx 1+{}^1/_3x$	0,20	0,065	0,021
$\frac{1}{1+x} \approx 1-x$	0,06	0,022	0,007
$10^x \approx 1+2{,}303x$	0,04	0,014	0,004
$\lg(1+x) \approx 0{,}4343x$	0,14	0,047	0,015
$\lg\frac{1+x}{1-x} \approx 0{,}8686x$	0,25	0,119	0,055
$\sin x \approx x$	17°48′	8°15′	3°50′
$\cos x \approx 1$	5°43′	1°48′	0°34′
$\cos x \approx 1-\frac{x^2}{2}$	33°43′	18°58′	10°40′
$\operatorname{tg} x \approx x$	14°8′	6°25′	3°2′

Podano wartości x, dla których otrzymuje się obliczone wartości nie różniące się od wartości dokładnych odpowiednio na n miejscach dziesiętnych po przecinku.

LICZBY UROJONE I ZESPOLONE

Wszystkie liczby jakie możemy otrzymać za pomocą dodawania, odejmowania, mnożenia i dzielenia liczb naturalnych (1, 2, 3, 4, 5 ....) nazywamy liczbymi wymiernymi na przykład $\frac{3}{5}$; $\frac{4}{9}$; 2,318; wszystkie inne liczby nazywamy niewymiernymi; na przykład $\sqrt{2}$, $\sqrt[3]{5}$, π. Liczby wymierne i niewymierne tworzą grupę liczb rzeczywistych. Można je przedstawić na osi liczbowej.

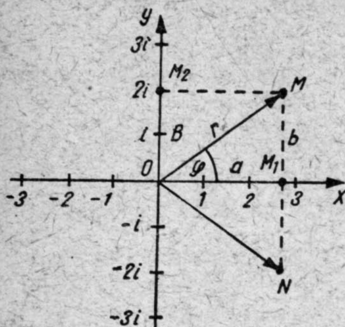
Wprowadzając jedność urojoną, określoną równaniem $i = \sqrt{-1}$ lub $i^2 = -1$ otrzymamy ogólne wyrażenie na liczbę urojoną

$$\sqrt{-b^2} = b\sqrt{-1} = bi$$

gdzie b jest liczbą rzeczywistą.

Liczba typu $a + bi$, gdzie a i b są liczbami rzeczywistymi, nazywa się liczbą zespoloną.

Liczbę zespoloną $z = a + bi$ można przedstawić na płaszczyźnie za pomocą punktu M (rys. 1). Przy tym



Rys. 1

$$\sqrt{-1} = \mathrm{i}; \quad \mathrm{i}^2 = -1; \quad \mathrm{i}^3 = -\mathrm{i};$$

$$\mathrm{i}^4 = 1; \quad \mathrm{i}^{4m} = 1; \quad \mathrm{i}^{4m+1} = \mathrm{i};$$

$$\mathrm{i}^{4m+2} = -1; \quad \mathrm{i}^{4m+3} = -\mathrm{i};$$

$$\frac{1}{\mathrm{i}} = \frac{1}{\sqrt{-1}} = -\mathrm{i}.$$

Liczbą urojoną nazywamy liczbę $b\mathrm{i} = b\sqrt{-1}$, gdzie b jest liczbą rzeczywistą.

Liczbą zespoloną nazywamy liczbę $a + b\mathrm{i} = a + b\sqrt{-1}$, gdzie a oraz b są liczbami rzeczywistymi.

Liczby rzeczywiste traktujemy jako liczby zespolone, dla których $b = 0$.

Liczby zespolone $a + b\mathrm{i}$ oraz $a - b\mathrm{i}$ są liczbami zespolonymi sprzężonymi. Ich suma i iloczyn są liczbami rzeczywistymi:

$(a + b\mathrm{i}) + (a - b\mathrm{i}) = 2a;$

$(a + b\mathrm{i})(a - b\mathrm{i}) = a^2 - b^2\mathrm{i}^2 = a^2 + b^2.$

Wyrażenie $\sqrt{a^2 + b^2} = r$ nazywa się modułem liczby zespolonej $(a + b\mathrm{i})$. Przy liczbach czysto urojonych $(a = 0)$ moduł $r = b$.

Liczba zespolona $a \pm b\mathrm{i}$ może być przedstawiona w postaci trygonometrycznej:

$$a \pm b\mathrm{i} = r\,[\cos(\varphi + 2k\pi) \pm \mathrm{i}\sin(\varphi + 2k\pi)]$$

gdzie (rys. 1);

$r = \sqrt{a^2 + b^2}$ — moduł liczby zespolonej;

$0 \leqslant \varphi \leqslant 2\pi$ — argument liczby zespolonej, przy czym $\sin\varphi = \dfrac{b}{r}$;

$$\cos\varphi = \frac{a}{r}$$

k — liczba całkowita dodatnia, ujemna lub równa zeru.

Liczbom rzeczywistym dodatnim odpowiada argument $\varphi = 0$.

Liczbom rzeczywistym ujemnym odpowiada argument $\varphi = \pi$.

Liczbom urojonym $(b\mathrm{i})$ odpowiada argument $\varphi = \dfrac{\pi}{2}$, gdy $b > 0$ oraz argument $\varphi = \dfrac{3\pi}{2}$, gdy $b < 0$.

Punkt M (rys. 1) odpowiada liczbie zespolonej $a + bi$.
Punkt $M1$ odpowiada liczbie rzeczywistej a.
Punkt $M2$ odpowiada liczbie urojonej bi.
Punkt B odpowiada jedności urojonej $i\,(b = 1)$.
Długość odcinka $OM = r = \sqrt{a^2 + b^2}$ odpowiada modułowi liczby zespolonej $a + bi$.

Kąt φ, dla którego $\sin\varphi = \frac{b}{r}$ i $\cos\varphi = \frac{a}{r}$ jest argumentem liczby zespolonej $a + bi$.

Jeżeli $a + bi = c + di$, to $a = c$ oraz $b = d$ i odwrotnie $a + bi = 0$ tylko wówczas, gdy $a = 0$ oraz $b = 0$

$(a + bi) + (c + di) = (a + c) + (b + d)\,i$ (dodawanie).

$(a + bi) - (c + di) = (a - c) + (b - d)\,i$ (odejmowanie).

$(a + bi)(c + di) = (ac - bd) + (ad + bc)\,i$ (mnożenie).

$$\frac{a + bi}{c + di} = \frac{(a + bi)(c - di)}{c^2 + d^2} = \frac{ac + bd}{c^2 + d^2} + \frac{bc - ad}{c^2 + d^2}\,i \quad \text{(dzielenie).}$$

Gdy liczby zespolone występują w postaci trygonometrycznej, to:

$$[r_1(\cos\varphi_1 \pm i\sin\varphi_1)]\cdot[r_2(\cos\varphi_2 \pm i\sin\varphi_2)] =$$
$$= r_1 r_2[\cos(\varphi_1 + \varphi_2) \pm i\sin(\varphi_1 + \varphi_2)] \quad \text{(mnożenie).}$$

$$\frac{r_1(\cos\varphi_1 \pm i\sin\varphi_1)}{r_2(\cos\varphi_2 \pm i\sin\varphi_2)} = \frac{r_1}{r_2}[\cos(\varphi_1 - \varphi_2) \pm i\sin(\varphi_1 - \varphi_2)] \quad \text{(dzielenie).}$$

$$[r(\cos\varphi \pm i\sin\varphi)]^n = r^n[(\cos n\varphi \pm i\sin n\varphi)] \quad \text{(potęgowanie)}$$

$$\sqrt[n]{r(\cos\varphi \pm i\sin\varphi)} = \sqrt[n]{r}\left[\cos\frac{\varphi + 2k\pi}{n} \pm i\sin\frac{\varphi + 2k\pi}{n}\right]$$

(pierwiastkowanie).

Liczba zespolona może być przedstawiona również w formie wykładniczej $a + bi = re^{\varphi i}$. Tak na przykład $1 + \sqrt{3}i = 2\left(\cos\frac{\pi}{3} + i\sin\frac{\pi}{3}\right) = 2e^{\frac{\pi}{3}i}$.

Przykłady

Ogólnie

$$1 + \sqrt{3}i = 2\left[\cos\left(\frac{\pi}{3} + 2k\pi\right) + i\sin\left(\frac{\pi}{3} + 2k\pi\right)\right] = 2e^{\left(\frac{\pi}{3} + 2k\pi\right)i}$$

$$\frac{(3-4i)(-1+5i)^2}{1+3i}+\frac{10+7i}{5i}=\frac{(3-4i)(1-10i-25)}{1+3i}+\frac{(10+7i)i}{5i\cdot i}=$$

$$=\frac{-2(3-4i)(12+5i)}{1+3i}+\frac{7-10i}{5}=\frac{-2(56-33i)(1-3i)}{(1+3i)(1-3i)}+$$

$$+\frac{7-10i}{5}=\frac{-2(-43-201i)}{10}+\frac{7-10i}{5}=\frac{1}{5}(50+191i)=10+38{,}2i$$

Określić wszystkie wartości $\sqrt[3]{i}$.

Moduł liczby zespolonej $r=\sqrt{a^2+b^2}=1$; $\sin\varphi=\frac{b}{r}=1=\frac{\pi}{2}$

$$\sqrt[3]{i}=\sqrt[3]{\cos\frac{\pi}{2}+i\sin\frac{\pi}{2}}=\cos\frac{\frac{\pi}{2}+2k\pi}{3}+i\sin\frac{\frac{\pi}{2}+2k\pi}{3}$$

gdzie $k=0, 1, 2\ldots\ldots$

Dla $k=0$ otrzymamy

$$\sqrt[3]{i}=\cos\frac{\pi}{6}+i\sin\frac{\pi}{6}=\frac{\sqrt{3}}{2}+\frac{i}{2}$$

Dla $k=1$ $\sqrt[3]{i}=\cos\frac{5\pi}{6}+i\sin\frac{5\pi}{6}=-\frac{\sqrt{3}}{2}+\frac{i}{2}$

Dla $k=2$ $\sqrt[3]{i}=\cos\frac{3\pi}{2}+i\sin\frac{3\pi}{2}=-i$

$$\sqrt{1+i}=\sqrt[4]{2}\sqrt{\cos\left(\frac{\pi}{4}+2k\pi\right)+i\sin\left(\frac{\pi}{4}+2k\pi\right)}=$$

$$=\sqrt[4]{2}\left(\cos\frac{\frac{\pi}{4}+2k\pi}{2}+i\sin\frac{\frac{\pi}{4}+2k\pi}{2}\right)$$

Dla $k=0$, otrzymamy

$$\sqrt{1+i}=\sqrt[4]{2}\left(\cos\frac{\pi}{8}+i\sin\frac{\pi}{8}\right)=\frac{\sqrt[4]{2}}{2}\left(\sqrt{2+\sqrt{2}}=i\sqrt{2-\sqrt{2}}\right)$$

Dla $k=1$, otrzymamy odpowiednio

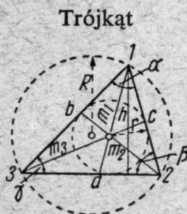
$$\sqrt{1+i}=\sqrt[4]{2}\left(\cos\frac{9}{8}\pi+i\sin\frac{9}{8}\pi\right)=-\frac{\sqrt[4]{2}}{2}\left(\sqrt{2+\sqrt{2}}+i\sqrt{2-\sqrt{2}}\right)$$

Uwaga: wzory na mnożenie i dzielenie są słuszne dla znaków zgodnych przed częścią urojoną. Dla znaków niezgodnych występuje po prawej stronie zamiast $(\varphi_1+\varphi_2)$ wyrażenie $(\varphi_1-\varphi_2)$ i odwrotnie oraz znak przed częścią urojoną zgodny ze znakiem mnożnej lub dzielnej.

GEOMETRIA

POWIERZCHNIE FIGUR PŁASKICH

Trójkąt



rys. 1-1

P — obwód

S — powierzchnia

a, b, c — boki

α, β, γ — kąty

h — wysokość

R — promień koła opisanego

r — promień koła wpisanego

m_1, m_2, m_3 — dwusieczne

$$C = \frac{1}{2}(m_1 + m_2 + m_3)$$

(x, y) — współrzędne wierzchołków w prostokątnym układzie współrzędnych

$$P = a + b + c$$

$$S = \frac{1}{2} ah$$

$$S = \frac{1}{2} ab \sin\gamma$$

$$S = \frac{a^2 \sin\beta \sin\gamma}{2 \sin\alpha}$$

$$p = \frac{1}{2}(a + b + c)$$

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$$

$$S = 2R^2 \sin\alpha \sin\beta \sin\gamma$$

$$S = r^2 \operatorname{ctg}\frac{\alpha}{2} \operatorname{ctg}\frac{\beta}{2} \operatorname{ctg}\frac{\gamma}{2}$$

$$S = rp$$

$$S = \frac{abc}{4r}$$

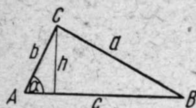
$$S = \frac{4}{3}\sqrt{C(C-m_1)(C-m_2)(C-m_3)}$$

$$S = \pm \frac{1}{2} \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix}$$

$$S = \pm \frac{1}{2} \begin{vmatrix} x_1 & y_1 \\ x_1 & y_2 \end{vmatrix}$$

Jeżeli trzeci wierzcholek znajduje sie na początku układu współrzędnych.

Trójkąt prostokątny



$$P = a + b + c$$

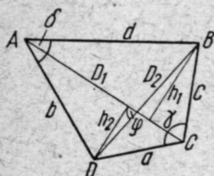
$$S = \frac{1}{2} ab$$

$$S = \frac{1}{2} a^2 \operatorname{ctg} \alpha$$

$$S = \frac{1}{2} b^2 \operatorname{tg} \alpha$$

$$S = \frac{1}{4} c^2 \sin 2\alpha$$

Czworokąt



D_1, D_2 — przekątne
φ — kąt między przekątnymi
δ, γ — dwa przeciwległe kąty czworokąta

$$P = a + b + c + d$$

$$S = \frac{h_1 + h_2}{2} D_1$$

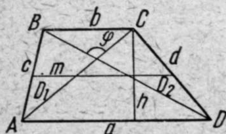
$$S = \frac{1}{2} D_1 D_2 \sin \varphi$$

$$S = \sqrt{(p - a)(p - b)(p - c)(p - d)}$$

$$S = abcd \cos^2 \frac{\delta + \gamma}{2}$$

$$p = \frac{1}{2} (a + b + c + d)$$

Trapez



$$P = a + b + c + d$$

$$P = 2m + c + d$$

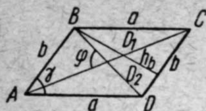
$$S = \frac{a + b}{2} h$$

$$S = mh$$

$$S = \frac{1}{2} D_1 D_2 \sin \varphi$$

$$m = \frac{a + b}{2}$$

Równoległobok



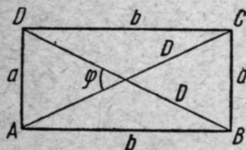
$$P = 2(a + b)$$

$$S = bh$$

$$S = ab \sin\gamma$$

$$S = \frac{1}{2} D_1 D_2 \sin\varphi$$

Prostokąt

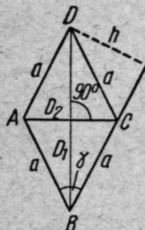


$$P = 2(a + b)$$

$$S = ab$$

$$S = \frac{1}{2} D^2 \sin\varphi$$

Romb

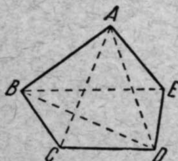


$$P = 4a$$

$$S = a^2 \sin\gamma$$

$$S = \frac{1}{2} D_1 D_2$$

Wielobok



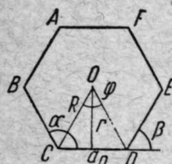
$$P = a_1 + a_2 + \dots + a_n$$

$$S = \pm \frac{1}{2} [(x_2 y_1 - x_1 y_2) + (x_3 y_2 - x_2 y_3) + \dots + (x_n y_{n-1} - x_{n-1} y_n) + (x_1 y_n - x_n y_1)]$$

$a_1, a_2 \dots a_n$ — boki

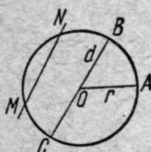
xy — współrzędne wierzchołków

Wielobok foremny



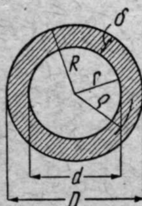
$$P = na$$
$$P = 2\,nr\,\mathrm{tg}\,\varphi$$
$$P = 2\,nR\sin\varphi$$
$$S = \frac{1}{4}\,na^2\,\mathrm{ctg}\,\varphi$$
$$S = nr^2\,\mathrm{tg}\,\varphi$$
$$S = \frac{1}{2}\,nR^2\sin 2\varphi$$
$$S = \frac{1}{2}\,nar$$
$$a = 2\sqrt{R^2 - r^2}$$
$$\alpha = 180° - 2\varphi$$
$$\varphi = \frac{180°}{n}$$

Koło



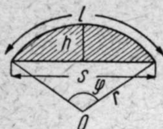
$$P = 2\pi r$$
$$P = \pi d$$
$$P = 3{,}141593\,d$$
$$S = \pi r^2$$
$$S = \frac{1}{4}\pi d^2$$
$$S = 0{,}785398\,d^2$$

Pierścień



$$P = 2\pi(r + R)$$
$$P = \pi(d + D)$$
$$S = \pi(R^2 - r^2)$$
$$S = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$$
$$S = 2\pi\varrho\delta$$
$$\varrho = \frac{r + R}{2}$$
$$\delta = R - r$$

Odcinek koła



$$P = l + s$$

$$S = \frac{1}{2} r^2 \left(\frac{\pi \cdot \varphi}{180} - \sin \varphi \right)$$

$$S = \frac{r(l - s) + sh}{2}$$

Wycinek koła



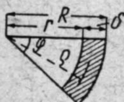
$$P = l + 2r$$

$$S = \frac{1}{2} lr$$

$$S = \frac{\pi \cdot \varphi}{360} r^2$$

$$l = \frac{\pi \cdot \varphi}{180} r \text{ (długość łuku)}$$

Część pierścienia



$$P = \frac{\pi \cdot \varphi}{180} (R + r)$$

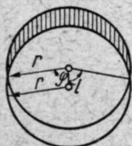
$$S = \frac{\pi \cdot \varphi}{360} (R^2 - r^2)$$

$$S = \frac{\pi \cdot \varphi}{180} \varrho \, \delta$$

$$\varrho = \frac{r + R}{2} \text{ (średni promień)}$$

$$\delta = R - r \text{ (szerokość pierścienia)}$$

Sierp

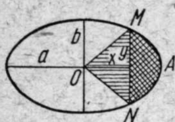


$$P = 2\pi r$$

$$S = r^2 \left(\pi + \sin \varphi - \frac{\pi \cdot \varphi}{180} \right) = r^2 \eta,$$

$$\eta = \pi + \sin \varphi - \frac{\pi \cdot \varphi}{180}.$$

Elipsa



$$P = 2\pi a\left[1 - \left(\frac{1}{2}\right)\varepsilon^2 - \left(\frac{1\cdot 3}{2\cdot 4}\right)^2 \frac{\varepsilon^4}{3} - \left(\frac{1\cdot 3\cdot 5}{2\cdot 4\cdot 6}\right)^2 \frac{\varepsilon^6}{5} - \dots\right]$$

$$P \approx \pi\left(3\frac{a+b}{2} - \sqrt{ab}\right)$$

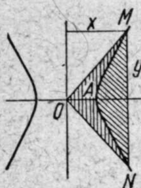
$$S = \pi a b$$

$$S_{MAN} = ab \arccos\frac{x}{a} - xy$$

$$S_{OMAN} = ab \arccos\frac{x}{a}$$

$$\varepsilon = \frac{c}{a} = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$

Hiperbola



$$S_{AMN} = xy - ab\ln\left(\frac{x}{a} + \frac{y}{b}\right)$$

$$S_{OAMN} = ab\ln\left(\frac{x}{a} + \frac{y}{b}\right)$$

$$S_{OAMN} = -ab\ln\left(\frac{x}{a} - \frac{y}{b}\right)$$

a – półoś rzeczywista OA
b – półoś urojona

Parabola

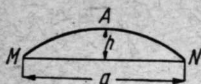


$$P_{MON} = p\left\{\sqrt{\frac{2x}{p}\left(1 + \frac{2x}{p}\right)} + \ln\left[\sqrt{\frac{2x}{p}} + \sqrt{1 + \frac{2x}{p}}\right]\right\}$$

$$P_{MON} = \frac{y}{p}\sqrt{y^2 + p^2} + p\ln\frac{y + \sqrt{y^2 + p^2}}{p}$$

$$S_{OMN} = \frac{2}{3}xy$$

Sinusoida



$$P_{MAN} \approx a\left[1 + \frac{\pi^2}{4}\left(\frac{h}{a}\right)^2 - \frac{\pi^4}{8}\left(\frac{h}{a}\right)^4\right]$$

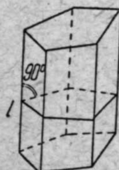
Jeżeli $\frac{h}{a}$ – małe

$$S_{MAN} = \frac{2}{\pi}ah$$

POWIERZCHNIE I OBJĘTOŚCI BRYŁ

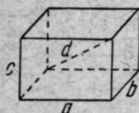
S_b – powierzchnia boczna; S – powierzchnia całkowita; V – objętości

Graniastosłup



$S_b = Pl$
$S = Pl + 2F$
$V = Fh$
$V = Ql$
F – powierzchnia podstawy
Q – powierzchnia przekroju prostopadłego do krawędzi
h – wysokość
P – obwód przekroju prostopadłego do krawędzi

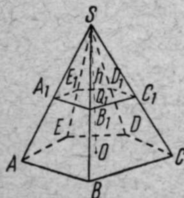
Prostopadłościan



$S = 2(ab + bc + ac)$

$V = abc$

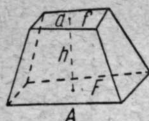
Ostrosłup prosty



$$V = \frac{1}{3}Fh$$

F – powierzchnia podstawy

Ostrosłup ścięty



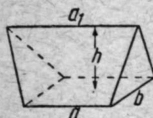
$$V = \frac{1}{3} h (F + f + \sqrt{F \cdot f})$$

$$V = \frac{1}{3} hF \left[1 + \frac{a}{A} + \left(\frac{a}{A}\right)^2\right]$$

F, f – powierzchnie podstaw równoległych

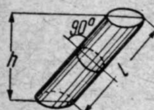
A, a – dwa odpowiednie boki podstaw

Klin



$$V = \frac{1}{6} (2a + a_1) bh$$

Walec pochyły



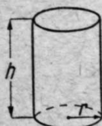
$S_b = Pl;$

$S = Pl + 2F$

$V = Fh$

$V = Ql$

Walec kołowy prosty

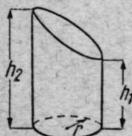


$S_b = 2\pi rh$

$S = 2\pi r (h + r)$

$V = \pi r^2 h$

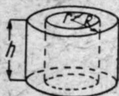
Walec kołowy skośnie ścięty



$S_b = \pi r (h_1 + h_2)$

$$V = \frac{1}{2} \pi r^2 (h_1 + h_2)$$

Walec kołowy wydrążony



$S_b = 2\pi\, h\,(R + r)$
$S_b = 4\pi\, h\, \varrho$
$S\ = 2\pi\,(R + r)\,(h + R - r)$
$S\ = 4\pi\, \varrho\,(h + \delta)$
$V = \pi\, h\,(R^2 - r^2)$
$V = \pi\, h\, \delta\,(2\,R - \delta)$
$V = \pi\, h\, \delta\,(2\,r + \delta)$
$V = 2\,\pi\, h\, \delta\, \varrho$
$\delta\ = R - r$

$$\varrho = \frac{R + r}{2}$$

Stożek kołowy



$S_b = \pi\, R \sqrt{R^2 + h^2}$
$S_b = \pi\, R\, l;$
$S\ = \pi\, R\,(R + l)$

$$V = \frac{1}{3}\,\pi\, R^2\, h$$

$l\ = \sqrt{R^2 + h^2}$ (tworząca)

Stożek kołowy ścięty



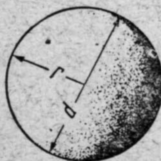
$S_b = \pi\, l\,(R + r)$
$S_b = \pi\, l\, \sigma$
$S\ = \pi\,[R^2 + r^2 + l\,(R + r)]$

$$V = \frac{1}{3}\,\pi\, h\,(R^2 + r^2 + Rr)$$

$$V = \frac{\pi\, h}{12}\,(3\,\sigma^2 + \delta^2)$$

$\sigma\ = R + r$
$\delta\ = R - r$
$l\ = \sqrt{\delta^2 + h^2}$

Kula



$S\ = 4\,\pi\, r^2$
$S\ = \pi\, d^2$

$$V = \frac{4}{3}\,\pi\, r^3$$

$$V = \frac{1}{6}\,\pi\, d^3$$

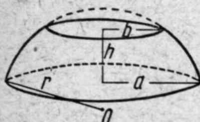
$V = 0{,}523599\, d^3$

Odcinek kuli



$$S_b = 2\pi rh$$
$$S_b = \pi(a^2 + h^2)$$
$$S = \pi(2a^2 + h^2)$$
$$V = \frac{1}{6}\pi h(3a^2 + h^2)$$
$$V = \frac{1}{3}\pi h^2(3r - h)$$
$$a = \sqrt{h(2r - h)}$$

Pas kulisty



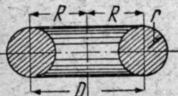
$$S_b = 2\pi rh$$
$$S = \pi(a^2 + b^2 + rh)$$
$$V = \frac{1}{6}\pi h(3a^2 + 3b^2 + h^2)$$
$$r = \sqrt{\frac{a^2 + a^2 - b^2 - h^2}{2h}}$$

Wycinek kuli



$$S = \pi r(a + 2h)$$
$$V = \frac{2}{3}r^2 h$$

Pas walcowy (torus)



$$S = 4\pi^2 Rr$$
$$S = \pi^2 Dd$$
$$V = 2\pi^2 Rr^2$$
$$V = \frac{1}{4}\pi^2 Dd^2$$
$$S = 2{,}4674\, Dd^2$$
$$D = 2R$$
$$d = 2r$$

TRYGONOMETRIA

WZORY PODSTAWOWE

$$\sin\alpha = BC = \frac{a}{c}\,; \qquad OC = 1$$

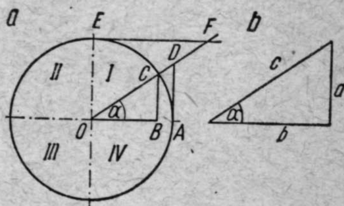
$$\cos\alpha = OB = \frac{b}{c}\,;$$

$$\operatorname{tg}\alpha = AD = \frac{a}{b}\,;$$

$$\operatorname{ctg}\alpha = EF = \frac{b}{a}\,;$$

$$\sec\alpha = OD = \frac{c}{b}\,;$$

$$\operatorname{cosec}\alpha = OF = \frac{c}{a}\,.$$



Ćwiartka	Kąt	sin	cos	tg	ctg	sec	cosec
I	od 0° do 90°	+	+	+	+	+	+
II	od 90° do 180°	+	−	−	−	−	+
III	od 180° do 270°	−	−	+	+	−	−
IV	od 270° do 360°	−	+	−	−	+	−

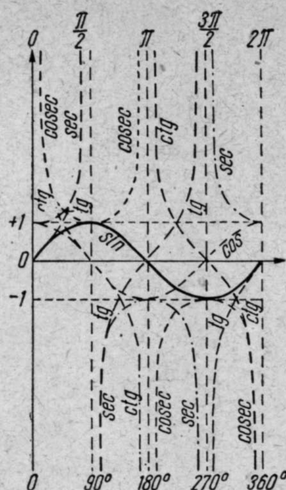
$\sin(360°\cdot n + \alpha) = \sin\alpha,$ $\quad\sin(-\alpha) = -\sin\alpha,$

$\cos(360°\cdot n + \alpha) = \cos\alpha,$ $\quad\cos(-\alpha) = \cos\alpha,$

$\operatorname{tg}(180°\cdot n + \alpha) = \operatorname{tg}\alpha,$ $\quad\operatorname{tg}(-\alpha) = -\operatorname{tg}\alpha,$

$\operatorname{ctg}(180°\cdot n + \alpha) = \operatorname{ctg}\alpha,$ $\quad\operatorname{ctg}(-\alpha) = -\operatorname{ctg}\alpha,$

Funkcja	I					II				III				IV			
	0°	30°	45°	60°	90°	120°	135°	150°	180°	210°	225°	240°	270°	300°	315°	330°	360°
	0	$\frac{1}{6}\pi$	$\frac{1}{4}\pi$	$\frac{1}{3}\pi$	$\frac{1}{2}\pi$	$\frac{2}{3}\pi$	$\frac{3}{4}\pi$	$\frac{5}{6}\pi$	π	$1\frac{1}{6}\pi$	$1\frac{1}{4}\pi$	$1\frac{1}{3}\pi$	$1\frac{1}{2}\pi$	$1\frac{2}{3}\pi$	$1\frac{3}{4}\pi$	$1\frac{5}{6}\pi$	2π
sin	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	-1	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0
cos	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	-1	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1
tg	0	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	1	$\sqrt{3}$	$\pm\infty$	$-\sqrt{3}$	-1	$-\frac{\sqrt{3}}{3}$	0	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	1	$\sqrt{3}$	$\pm\infty$	$-\sqrt{3}$	-1	$-\frac{\sqrt{3}}{3}$	0
ctg	$\mp\infty$	$\sqrt{3}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	0	$-\frac{\sqrt{3}}{3}$	-1	$-\sqrt{3}$	$\mp\infty$	$\sqrt{3}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	0	$-\frac{\sqrt{3}}{3}$	-1	$-\sqrt{3}$	$\pm\infty$
sec	1	$\frac{2\sqrt{3}}{3}$	$\sqrt{2}$	2	$\pm\infty$	-2	$-\sqrt{2}$	$-\frac{2\sqrt{3}}{3}$	-1	-1	$\frac{2\sqrt{3}}{3}$	$-\sqrt{2}$	$\mp\infty$	2	$\sqrt{2}$	$\frac{2\sqrt{3}}{3}$	1
cosec	$\mp\infty$	2	$\sqrt{2}$	$\frac{2\sqrt{3}}{3}$	1	$\frac{2\sqrt{3}}{3}$	$\sqrt{2}$	2	$\pm\infty$	-2	$-\sqrt{2}$	$-\frac{2\sqrt{3}}{3}$	-1	$\frac{2\sqrt{3}}{3}$	$-\sqrt{2}$	-2	$\mp\infty$



Funkcja	$\beta = 90° \pm \alpha$	$\beta = 180° \pm \alpha$	$\beta = 270° \pm \alpha$	$\beta = 360° - \alpha$
$\sin\beta$	$+\cos\alpha$	$\mp\sin\alpha$	$-\cos\alpha$	$-\sin\alpha$
$\cos\beta$	$\mp\sin\alpha$	$-\cos\alpha$	$\pm\sin\alpha$	$\cos\alpha$
$\mathrm{tg}\,\beta$	$\mp\mathrm{ctg}\,\alpha$	$\pm\mathrm{tg}\,\alpha$	$\mp\mathrm{ctg}\,\alpha$	$\pm\mathrm{tg}\,\alpha$
$\mathrm{ctg}\,\beta$	$\mp\mathrm{tg}\,\alpha$	$\pm\mathrm{ctg}\,\alpha$	$\mp\mathrm{tg}\,\alpha$	$\pm\mathrm{ctg}\,\alpha$

$$\sin^2\alpha + \cos^2\alpha = 1, \qquad \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \mathrm{tg}\,\alpha, \qquad \sin\alpha\cdot\mathrm{cosec}\,\alpha = 1,$$

$$\sec^2\alpha - \mathrm{tg}^2\alpha = 1, \qquad \cos\alpha\cdot\sec\alpha = 1,$$

$$\mathrm{cosec}^2\alpha - \mathrm{ctg}^2\alpha = 1, \qquad \frac{\cos\alpha}{\sin\alpha} = \mathrm{ctg}\,\alpha, \qquad \mathrm{tg}\,\alpha\cdot\mathrm{ctg}\,\alpha = 1,$$

$$\sin\alpha = \sqrt{1-\cos^2\alpha} = \frac{\mathrm{tg}\,\alpha}{\sqrt{1+\mathrm{tg}^2\alpha}} = \frac{1}{\sqrt{1+\mathrm{ctg}^2\alpha}} = \frac{\sqrt{\sec^2\alpha - 1}}{\sec\alpha} =$$

$$= \frac{1}{\mathrm{cosec}\,\alpha},$$

$$\cos\alpha=\sqrt{1-\sin^2\alpha}=\frac{1}{\sqrt{1+\mathrm{tg}^2\alpha}}=\frac{\mathrm{ctg}\,\alpha}{\sqrt{1+\mathrm{ctg}^2\alpha}}=\frac{1}{\sec\alpha}=$$

$$=\frac{\sqrt{\mathrm{cosec}^2\alpha-1}}{\mathrm{cosec}\,\alpha}$$

$$\mathrm{tg}\,\alpha=\frac{\sin\alpha}{\sqrt{1-\sin^2\alpha}}=\frac{\sqrt{1-\cos^2\alpha}}{\cos\alpha}=\frac{1}{\mathrm{ctg}\,\alpha}=\sqrt{\sec^2\alpha-1}=$$

$$=\frac{1}{\sqrt{\mathrm{cosec}^2\alpha-1}},$$

$$\mathrm{ctg}\,\alpha=\frac{\sqrt{1-\sin^2\alpha}}{\sin\alpha}=\frac{\cos\alpha}{\sqrt{1-\cos^2\alpha}}=\frac{1}{\mathrm{tg}\,\alpha}=\frac{1}{\sqrt{\sec^2\alpha-1}}=$$

$$=\sqrt{\mathrm{cosec}^2\alpha-1}.$$

$$\sin(\alpha\pm\beta)=\sin\alpha\cos\beta\pm\cos\alpha\sin\beta;\quad \cos(\alpha\pm\beta)=\cos\alpha\cdot\cos\beta\mp\sin\alpha\sin\beta;$$

$$\mathrm{tg}(\alpha\pm\beta)=\frac{\mathrm{tg}\,\alpha\pm\mathrm{tg}\,\beta}{1\mp\mathrm{tg}\,\alpha\,\mathrm{tg}\,\beta},\qquad \mathrm{ctg}(\alpha\pm\beta)=\frac{\mathrm{ctg}\,\alpha\,\mathrm{ctg}\,\beta\mp1}{\mathrm{ctg}\,\beta\pm\mathrm{ctg}\,\alpha};$$

$$\sin(\alpha+\beta+\gamma)=\sin\alpha\cos\beta\cos\gamma+\cos\alpha\sin\beta\cos\gamma+$$
$$+\cos\alpha\cos\beta\sin\gamma-\sin\alpha\sin\beta\sin\gamma;$$

$$\cos(\alpha+\beta+\gamma)=\cos\alpha\cos\beta\cos\gamma-\sin\alpha\sin\beta\cos\gamma-$$
$$-\sin\alpha\cos\beta\sin\gamma-\cos\alpha\sin\beta\sin\gamma;$$

$$\sin2\alpha=2\sin\alpha\cos\alpha;\qquad \sin3\alpha=3\sin\alpha-4\sin^3\alpha;$$
$$\cos2\alpha=\cos^2\alpha-\sin^2\alpha;\qquad \cos3\alpha=4\cos^3\alpha-3\cos\alpha;$$
$$\sin4\alpha=8\cos^3\alpha\sin\alpha-4\cos\alpha\sin\alpha;$$
$$\cos4\alpha=8\cos^4\alpha-8\cos^2\alpha+1;$$

$$\mathrm{tg}\,2\alpha=\frac{2\,\mathrm{tg}\,\alpha}{1-\mathrm{tg}^2\alpha},\quad \mathrm{tg}\,3\alpha=\frac{3\,\mathrm{tg}\,\alpha-\mathrm{tg}^3\alpha}{1-3\,\mathrm{tg}^2\alpha},\quad \mathrm{tg}\,4\alpha=\frac{4\,\mathrm{tg}\,\alpha-4\,\mathrm{tg}^3\alpha}{1-6\,\mathrm{tg}^2\alpha-\mathrm{tg}^4\alpha}$$

$$\mathrm{ctg}\,2\alpha=\frac{\mathrm{ctg}^2\alpha-1}{2\,\mathrm{ctg}\,\alpha};\quad \mathrm{ctg}\,3\alpha=\frac{\mathrm{ctg}^3\alpha-3\,\mathrm{ctg}\,\alpha}{3\,\mathrm{ctg}^2\alpha-1};$$

$$\mathrm{ctg}\,4\alpha=\frac{\mathrm{ctg}^4\alpha-\mathrm{ctg}^2\alpha+1}{4\,\mathrm{ctg}^3\alpha-4\,\mathrm{ctg}\,\alpha}$$

$$\cos n\alpha + i \sin n\alpha = (\cos\alpha + i \sin\alpha)^n = \cos^n\alpha + in \cos^{n-1}\alpha \sin\alpha -$$

$$- C_n^2 \cos^{n-2}\alpha \sin^2\alpha - i\, C_n^3 \cos^{n-3}\alpha \sin^3\alpha + C_n^4 \cos^{n-4}\alpha \sin^4\alpha + \ldots,$$

skąd

$$\cos n\alpha = \cos^n\alpha - C_n^2 \cos^{n-2}\alpha \sin^2\alpha + C_n^4 \cos^{n-4}\alpha \sin^4\alpha -$$

$$- C_n^6 \cos^{n-6}\alpha \sin^6\alpha + \ldots,$$

$$\sin n\alpha = n \cos^{n-1}\alpha \sin\alpha - C_n^3 \cos^{n-3}\alpha \sin^3\alpha + C_n^5 \cos^{n-5}\alpha \sin^5\alpha - \ldots;$$

$$\sin\frac{\alpha}{2} = \pm\sqrt{1/2(1-\cos\alpha)}; \quad \operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} = \pm\sqrt{\frac{1-\cos\alpha}{1+\cos\alpha}} = \frac{1-\cos\alpha}{\sin\alpha} = \frac{\sin\alpha}{1+\cos\alpha};$$

$$\cos\frac{\alpha}{2} = \pm\sqrt{1/2(1+\cos\alpha)}; \quad \operatorname{ctg}\frac{\alpha}{2} = \pm\frac{1+\cos\alpha}{1-\cos\alpha} = \frac{1+\cos\alpha}{\sin\alpha} = \frac{\sin\alpha}{1-\cos\alpha};$$

$$\sin\alpha + \sin\beta = 2\sin\frac{\alpha+\beta}{2}\cos\frac{\alpha-\beta}{2}; \quad \operatorname{tg}\alpha \pm \operatorname{tg}\beta = \frac{\sin(\alpha\pm\beta)}{\cos\alpha\cos\beta};$$

$$\sin\alpha - \sin\beta = 2\cos\frac{\alpha+\beta}{2}\sin\frac{\alpha-\beta}{2}; \quad \operatorname{ctg}\alpha \pm \operatorname{ctg}\beta = \frac{\sin(\alpha\pm\beta)}{\sin\alpha\sin\beta};$$

$$\cos\alpha + \cos\beta = 2\cos\frac{\alpha+\beta}{2}\cos\frac{\alpha-\beta}{2}; \quad \operatorname{tg}\alpha + \operatorname{ctg}\beta = \frac{\cos(\alpha-\beta)}{\cos\alpha\sin\beta};$$

$$\cos\alpha - \cos\beta = -2\sin\frac{\alpha+\beta}{2}\sin\frac{\alpha-\beta}{2}; \quad \operatorname{ctg}\alpha - \operatorname{tg}\beta = \frac{\cos(\alpha+\beta)}{\sin\alpha\cos\beta}$$

$$\sin\alpha\sin\beta = \frac{1}{2}[\cos(\alpha-\beta) - \cos(\alpha+\beta)];$$

$$\cos\alpha\cos\beta = \frac{1}{2}[\cos(\alpha-\beta) + \cos(\alpha+\beta)];$$

$$\sin\alpha\cos\beta = \frac{1}{2}[\sin(\alpha-\beta) + \sin(\alpha+\beta)];$$

$$\sin\alpha\sin\beta\sin\gamma = \frac{1}{4}[\sin(\alpha+\beta-\gamma) + \sin(\beta+\gamma-\alpha) +$$

$$+ \sin(\gamma+\alpha-\beta) - \sin(\alpha+\beta+\gamma)];$$

$$\sin\alpha\cos\beta\cos\gamma = \frac{1}{4}[\sin(\alpha+\beta-\gamma) - \sin(\beta+\gamma-\alpha) +$$

$$+ \sin(\gamma+\alpha-\beta) - \sin(\alpha+\beta+\gamma)];$$

$$\sin\alpha\sin\beta\cos\gamma = \frac{1}{4}[-\cos(\alpha+\beta-\gamma)+\cos(\beta+\gamma-\alpha)+$$
$$+\cos(\gamma+\alpha-\beta)-\cos(\alpha+\beta+\gamma)];$$
$$\cos\alpha\cos\beta\cos\gamma = \frac{1}{4}[\cos(\alpha+\beta-\gamma)+\cos(\beta+\gamma-\alpha)+$$
$$+\cos(\gamma+\alpha-\beta)+\cos(\alpha+\beta+\gamma)].$$

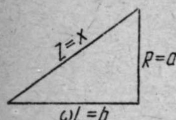
$$\sin^2\alpha = \frac{1}{2}(1-\cos 2\alpha); \qquad \sin^3\alpha = \frac{1}{4}(3\sin\alpha - \sin 3\alpha);$$

$$\cos^2\alpha = \frac{1}{2}(1+\cos 2\alpha); \qquad \cos^3\alpha = \frac{1}{4}(\cos 3\alpha + 3\cos\alpha);$$

$$\sin^4\alpha = \frac{1}{8}(\cos 4\alpha + 4\cos 2\alpha + 3)$$

$$\cos^4\alpha = \frac{1}{8}(\cos 4\alpha + 4\cos 2\alpha + 3).$$

GRAFICZNA METODA OBLICZEŃ PIERWIASTKA Z SUMY KWADRATÓW



Rys. 2

Często w praktyce radioamatorskiej zdarzają się obliczenia typu $x = \sqrt{a^2 + b^2}$ (na przykład przy dodawaniu oporności czynnych i biernych). W tym celu na papierze milimetrowym rysuje się trójkąt prostokątny (rys. 2), w którym przyprostokątne mają określoną skalę. Wówczas przeciwprostokątna będzie w tej samej skali odpowiadała wartości x.

Przykład: Obliczyć impedancję (oporność pozorną) Z dławika o indukcyjności $L = 1$ H i oporności $R = 200\ \Omega$ dla częstotliwości 50 Hz

$$Z = \sqrt{(\omega L)^2 + R^2}$$
$$\omega L = 2\pi f 1 = 6{,}28 \cdot 50 \cdot 1 = 314 \approx 300\ \Omega$$
$$Z = \sqrt{300^2 + 200^2} \approx 360\ \Omega$$

FUNKCJE

Większość wielkości, z jakimi mamy do czynienia w technice, są to wielkości zmienne. Mogą one przyjmować różne wartości. Przy tym ich wartość zależy zazwyczaj od tego, jakie wartości przyjmują inne wielkości zmienne.

Liczba y jest funkcją liczby x, jeżeli każdej wartości x możemy przyporządkować jedną lub więcej wartości y.

Najprostszym sposobem przedstawienia zależności liczby y od liczby x jest tabela, w której pewnym wartościom x odpowiadają odpowiednie wartości y. Często nie chodzi o dokładną wartość y lecz o ogólne prawo przebiegu danej funkcji; wówczas najlepszym sposobem przedstawienia tej zależności jest wykres, będący graficznym przedstawieniem danej funkcji na płaszczyźnie. Wykres wykonuje się przeważnie w układzie dwóch linii (osi) prostopadłych do siebie, których punkt przecięcia oznaczony jest cyfrą 0 (jest to tzw. prostokątny układ współrzędnych). Oś pionowa nazywa się osią rzędnych, a oś pozioma osią odciętych. Na osi odciętych nanosimy w pewnej skali wartości x, a na osi rzędnych — wartości y.

W celu przedstawienia zależności między trzema (zmiennymi) wielkościami w postaci wykresu, jedną z nich przyjmuje się za stałą (parametr) i wykreśla się zależności dla różnych wartości tej stałej. W ten sposób powstaje rodzina funkcji.

Funkcja liniowa (pierwszego stopnia)

Postać ogólna: $y = m \cdot x + c$ lub $ax + by + c = 0$. W układzie współrzędnych prostokątnych obrazem tej funkcji jest linia prosta.

Funkcja kwadratowa

Postać ogólna: $ax^2 + by^2 + cxy + dx + ey + f = 0$. Funkcja ta przedstawia sobą linie przecięcia stożka płaszczyzną.

Koło: $x^2 + y^2 = a^2$, gdzie a jest promieniem koła.

Elipsa: $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$

Parabola: $y = ax^2$

Hiperbola: $\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$

W przypadku granicznym wykresem tych funkcji może być para prostych lub prosta podwójna

Funkcja wykładnicza

Postać ogólna: $y = a^x$

Funkcja logarytmiczna jest odwrotnością funkcji wykładniczej.

Postać ogólna: $x = a \log y$

Funkcje kątowe

$y = \sin x$, $y = \cos x$, $y = \operatorname{tg} x$, $y = \operatorname{ctg} x$

JEDNOSTKI

WYMIARY JEDNOSTEK

W przeciwieństwie do liczb niemianowanych wielkości mierzone wyrażane są za pomocą pewnych jednostek, a więc charakteryzują się pewnym „wymiarem".

Następujące jednostki przyjęte są za jednostki podstawowe:

długcść, mierzona w centymetrach	[cm]
masa, mierzona w gramach	[g]
czas, mierzony w sekundach	[s]

Wszystkie inne jednostki można wyrazić za pomocą tych jednostek podstawowych; taki układ jednostek nazywa się układem CGS. Wymiary poszczególnych jednostek podaje się zazwyczaj w nawiasach kwadratowych za danym wzorem, lub w nawiasach kwadratowych jako frakcje dolne przy poszczególnych symbolach.

SYMBOLE JEDNOSTEK MIAR

A — amper
Azw — amperozwój
B — bel
C — kulomb
°C — stopień Celsjusza
cd — kandela
cm — centymetr
cm^2 — centymetr kwadratowy
cm^3 — centymetr sześcienny
dB — decybel
e — ładunek elektronu
erg — erg
eV — elektronowolt
F — farad
Gs — gaus
g — gram (masa)
H — henr
Hz — herc
h — godzina
J — dżul
KM — koń mechaniczny
keV — kiloelektronowolt
kg — kilogram (masa)
kG — kilogram (siła), kilopond
kGm — kilogramometr
kV — kilowolt
kVA — kilowoltoamper
kVAh — kilowoltoamperogodzina
kVAr — kilowar
kVArh — kilowarogodzina
kW — kilowat
kWh — kilowatogodzina
lm — lumen
lx — luks
MHz — megaherc
MV — megawolt

MW – megawat
Mx – makswel
M – megaom, megom
m – metr
min – minuta
mm – milimetr
mOe – miliersted
ms – milisekunda
mV – miliwolt
mW – miliwat
N – niuton
Oe – ersted
oma – om akustyczny
pF – pikofarad
f – fot
r – rentgen
S – simens
s – sekunda
sb – stilb
V – wolt
VA – woltoamper
VAh – woltoamperogodzina
Var – war
VArh – warogodzina
Vs – woltosekunda
W – wat
Wh – watogodzina
Ws – watosekunda
Wb – weber
μF – mikrofarad
μV – mikrowolt
Ω – om

SYMBOLE RADIOTECHNICZNE

Pismo radiotechnika składa się z pewnych umownych znaków i symboli. W przeciągu wielu lat symbole te uległy różnym zmianom i przeobrażeniom i do chwili obecnej brak jest jednolitych norm w tej dziedzinie. Z tego względu w tabl. 1 przedstawione są najczęściej używane symbole radiotechniczne, z jakimi spotyka się radiotechnik w swej działalności praktycznej.

Tablica 1

Podstawowe symbole radiotechniczne

Części składowe układu	Symbol graficzny	Symbol literowy
Ogniwo galwaniczne, akumulator	– +	*B*
Bateria ogniw lub akumulatorów	– +	*B*
Przewód		–

Części składowe układu	Symbol graficzny	Symbol literowy
Przewód ekranowany		–
Połączenie przewodów		–
Skrzyżowanie przewodów		–
Uziemienie, połączenie z korpusem		–
Antena		*A*
Wyłącznik		*W*
Przełącznik		*P*
Przekaźnik		P_{rz}
Opornik stały		*R*
Opornik nastawny		*R*
Kondensator stały		*C*

Części składowe układu	Symbol graficzny	Symbol literowy
Kondensator elektrolityczny		*C*
Kondensator o zmiennej pojemności		*C*
Kondensator dostrajający		*C*
Cewka indukcyjna		*L*
Dławik m. cz.		*Dł*
Transformator m. cz.		*Tr*
Mikrofon		*M*
Słuchawki		*Sł*
Głośnik		*G*
Adapter		*Ad*

Części składowe układu	Symbol graficzny	Symbol literowy
Dioda		*D*
Podwójna dioda		*D*
Trioda		*T*
Podwójna dioda-trioda		*T*
Tetroda wiązkowa		*Tt*
Pentoda		*P*
Heptoda		*H*

Części składowe układu	Symbol graficzny	Symbol literowy
Wskaźnik dostrojenia „Magiczne oko"		*M*
Stabilitron		*L*
Bareter		*L*
Neonówka		*N*
Fotonówka		*F*
Dioda półprzewodnikowa		*D*
Tranzystor p– n– p		*T*
Tranzystor n– p– n		*T*

JEDNOSTKI POMIAROWE WIELKOŚCI ELEKTRYCZNYCH

Obecnie istnieje kilka różnych układów jednostek pomiarowych. Największe rozpowszechnienie znalazł praktyczny układ jednostek, zwany systemem MKSA (metr kilogram, sekunda, amper). Większość wzorów radiotechnicznych podawana jest w oparciu o ten system.

Wielkości charakteryzujące obwody magnetyczne podawane są często w jednostkach systemu CGSM (centymetr, gram, sekunda, przenikalność magnetyczna próżni).

Podstawowe jednostki układu MKSA podane są w tabl. 2., a ich porównanie z innymi systemami w tabl. 3.

Tablica 2

Podstawowe jednostki pomiarowe

Wielkość oraz jej symbol	Jednostka pomiarowa nazwa, symbol	Jednostki pochodne nazwa	symbol	Stosunek jednostki pochodnej do podstawowej
Długość, l	metr [m]	centymetr	[cm]	1 cm 10^{-2}m
		milimetr	[mm]	1 mm = = 10^{-3} m
		mikron	μ	1 μ = 10^{-6} m
		milimikron	mμ	1 mμ = = 10^{-9} m
		angstrem	[Å]	1 Å = = 10^{-10} m
		kilometr	[km]	1 km = = 10^{3} m
Masa, m	kilogram [kg]	gram	[g]	1 g = = 10^{-3} kg
Czas, t	sekunda [s]	milisekunda	[ms]	1 ms = = 10^{-3} s
		mikrosekunda	[μs]	1 μs = 10^{-6} s
		milimikrosekunda (nanosekunda)	[mμs] [ns]	1 mμs = = 10^{-9} s
Prąd, I	amper [A]	miliamper	[mA]	1 mA = = 10^{-3} A
		mikroamper	[μA]	1 μA = = 10^{-6} A
		milimikroamper	[mμA]	1 mμA = = 10^{-9} A

Wielkość oraz jej symbol	Jednostka pomiarowa nazwa, symbol	Jednostki pochodne nazwa	symbol	Stosunek jednostki pochodnej do podstawowej
Ilość elektryczności Q	kulomb [C] lub amperosekunda [As]	amperogodzina miliamperogodzina	[Ah] [mAh]	1 Ah = = 3600 C 1 mAh = = 3,6 C
Potencjał elektryczny, sem. napięcie E, U,	wolt [V]	miliwolt mikrowolt kilowolt	[mV] [μV] [kV]	1 mV = = 10^{-3} V 1 μV = = 10^{-6} V 1 kV = = 10^{3} V
Oporność elektryczna R	om [Ω]	kiloom megaom	kΩ MΩ	1 kΩ = 10^{3} Ω 1 MΩ = = 10^{6} Ω
Moc, P	wat [W]	miliwat mikrowat kilowat	[mW] [μW] [kW]	1 mW = = 10^{-3} W 1 μW = = 10^{-6} W 1 kW = = 10^{3} W
Energia, praca A	dżul, [J] watosekunda [Ws]	watogodzina hektowatogodzina kilowatogodzina	[Wh] [hWh] [kWh]	1 Wh = = 3600 J 1 hWh = = 100 Wh 1 kWh = = 1000 Wh
Natężenie pola elektrycznego, K	wolt na metr [V/m]	miliwolt na metr	[mV/m]	1 mV/m = = 10^{-3}V/m
Pojemność elektryczna C	farad [F]	mikrofarad pikofarad	[μF] [pF]	1 μF = = 10^{-6} F 1 pF = = 10^{-12} F
Indukcyjność, L Indukcyjność wzajemna, M	henr [H]	milihenr mikrohenr milimikrohenr	[mH] [μH] [mμH]	1 mH = = 10^{-3} H 1 μH = = 10^{-6} H 1 mμH = = 10^{-9} H

Tablica 3

Jednostki elektryczne i magnetyczne w różnych układach

Symbol	Wielkość	Jednostka w układzie MKSA Jednostki podstawowe: metr, kilogram, sekunda, amper, °K, Kandela	Absolutny elektromagnetyczny układ emCGS. 1 jednostka układu emCGS równa się:	Układ elektrostatyczny esCGS. 1 jednostka układu esCGS równa się:
Q	Ilość elektryczności $Q = I \cdot t$	Kulomb [C] amperosekunda [As]	10 [C]	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-9}$ [C]
I	Natężenie prądu	Amper [A]	10 [A]	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-9}$ [A]
U	Napięcie	Wolt [V]	10^{-8}[V]	300 [V]
R	Oporność $R = U/I$	Om [Ω]	10^{-9} [Ω]	$9 \cdot 10^{11}$ [Ω]
G	Przewodność $G = I/U$	Simens [S]	10^{9} [S]	$\frac{1}{9} \cdot 10^{-11}$ [S]
A	Praca. Energia $A = U \cdot I \cdot t$	Dżul [J] Watosekunda [Ws]	1 erg = 10^{-7}[J]	10^{-7}[J]
P	Moc $P = U \cdot I$	Wat [W]	1 erg/sek = = 10^{-7} [W]	10^{-7} [W]
C	Pojemność $C = Q/U$	Farad [F] 1 μF = 10^{-6} [F]	10^{9} [F]	$\frac{1}{9} \cdot 10^{-11}$ [F]
K	Natężenie pola elektrycznego $K = U/l$	Wolt/metr [V/m]	10^{-6} [V/m]	$3 \cdot 10^{4}$ [V/m]
D	Natężenie indukcji elektrycznej $D = \varepsilon' \cdot K$	Kulomb/metr² [C/m²]	$\frac{10^{5}}{4\pi}$ [C/m²]	$\frac{10^{-5}}{3 \cdot 4\pi}$ [C/m²]
ε'	Stała dielektryczna $\varepsilon' = \varepsilon \cdot \varepsilon_0$ ε_0—stała dielektryczna próżni	W układzie praktycznym em MKSA $\varepsilon_0 = \frac{10^{-9}}{9 \cdot 4\pi}$ [As/Vm]	w układzie bezwzględnym em CGS $\varepsilon_0 = \frac{10^{-20}}{9}$ [sek²/cm²]	w układzie es CGS $\varepsilon_0 = 1$

Symbol	Wielkość	Jednostka w układzie MKSA Jednostki podstawowe: metr, kilogram, sekunda, amper, °K, Kandela	Absolutny elektromagnetyczny układ emCGS. 1 jednostka układu emCGS równa się:	Układ elektrostatyczny esCGS. 1 jednostka układu esCGS równa się:
H	Natężenie pola magnetycznego $H = \frac{I}{l} n$ n — liczba zwojów	Amper/metr [A/m]	1 ersted $= \frac{10^3}{4\pi}$ [A/m]	$\frac{10^{-7}}{3 \cdot 4\pi}$ [A/m]
B	Indukcja magnetyczna $B = \mu' \cdot \frac{I \cdot n}{l}$ [μH]	Woltosek/metr² [Vs/m²]	1 gaus $= 10^{-4}$ [Vs/m²] $= 10^{-8}$ [Vs/cm²]	$3 \cdot 10^6$ [Vs/m²]
Φ	Strumień magnetyczny $\Phi = B \cdot S = \mu' \cdot \frac{I \cdot n}{l} S$	Weber [Wb] = = Woltosekunda [Vs]	1 Makswel = = 10^{-8} [Vs]	300 [Vs]
L	Indukcyjność $L = \frac{n \cdot \Phi}{I}$	Henr [H] = Woltosekunda/amper [Vs/A]	10^{-9} [H]	$9 \cdot 10^{-11}$ [H]
U_m	Napięcie magnetyczne (Amperozwoje) $U_m = H \cdot l = I \cdot n$	Amper [A]	1 Gilbert = $\frac{10}{4\pi}$ [A]	$\frac{10^{-9}}{3 \cdot 4\pi}$ [A]
R_m	Oporność magnetyczna $R_m = \frac{I \cdot n}{\Phi} = \frac{n^2}{L}$	$\frac{1}{\text{henr}} \left[\frac{1}{H}\right]$	$10^9 \left[\frac{1}{H}\right]$	$\frac{1}{9} \cdot 10^{11} \left[\frac{1}{H}\right]$

Symbol	Wielkość	Jednostka w układzie MKSA Jednostki podstawowe: metr, kilogram, sekunda, amper, °K, Kandela	Absolutny elektromagnetyczny układ emCGS. 1 jednostka układu emCGS równa się:	Układ elektrostatyczny esCGS. 1 jednostka układu esCGS równa się:
μ'	Przenikalność magnetyczna $\mu' = \mu \cdot \mu_0 = \frac{B}{H}$	W układzie praktycznym elektromagnetycznym $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ [Vs/Am]	W układzie absolutnym elektromagnetycznym $\mu_0 = 1$	W układzie elektrostatycznym $\mu_0 = \frac{10^{-20}}{9}$ [s^2/cm^2]

LOGARYTMICZNA JEDNOSTKA MOCY

Jednostką służącą do porównywania wrażeń słuchowych jest decybel (dB). Ta sama jednostka służy również do pomiaru wzmocnienia lub osłabienia napięć i prądów.

Wzmocnienie lub osłabienie w decybelach

$$N_{(dB)} = 10 \lg \frac{P_2}{P_1}\,; \qquad N_{(dB)} = 20 \lg \frac{U_2}{U_1}\,; \qquad N_{(dB)} = 20 \lg \frac{I_2}{I_1}\,.$$

Przykład

Przy równej mocy na wejściu sygnał użyteczny $U_1 = 4$ V, a sygnał lustrzany $U_2 = 20$ mV. Określić wartość osłabienia w dB.

$$N = 20 \lg \frac{U_1}{U_2} = 20 \lg \frac{4}{0{,}02} = 46 \text{ dB}\,.$$

Tablica 4

Stosunek elektrycznych jednostek mocy do mechanicznych

	W	kW	KM	kGm	kcal/h
1 W	1	10^{-3}	$1{,}36 \cdot 10^{-3}$	0,102	0,86
1 kW	1000	1	1,36	102	860
1 KM	736	0,736	1	75	632
1 kGm/s	9,81	$9{,}81 \cdot 10^{-3}$	$1{,}33 \cdot 10^{-2}$	1	8,45
1 kcal/h	1,16	$1{,}16 \cdot 10^{-3}$	$1{,}57 \cdot 10^{-3}$	0,118	1

Tablica 5

Stosunek elektrycznych jednostek pracy do mechanicznych

	Ws, Joule	Wh	kWh	KMh	kGm	kcal
1 Ws, Joule	1	$2,78 \cdot 10^{-4}$	$2,78 \cdot 10^{-7}$	$3,78 \cdot 10^{-5}$	0,102	$2,39 \cdot 10^{-4}$
1 Wh	3600	1	10^{-3}	$1,36 \cdot 10^{-3}$	367,2	0,86
1 kWh	$3,6 \cdot 10^{6}$	1000	1	1,36	$3,67 \cdot 10^{5}$	860
1 KMh	$2,65 \cdot 10^{6}$	736	0,736	1	$2,7 \cdot 10^{5}$	632
1 kGm	9,81	$2,72 \cdot 10^{-3}$	$2,72 \cdot 10^{-6}$	$3,7 \cdot 10^{-6}$	1	$2,34 \cdot 10^{-3}$
1 kcal	4184	1,16	$1,16 \cdot 10^{-3}$	$1,57 \cdot 10^{-3}$	427	1

PRĄD STAŁY

ILOŚĆ ELEKTRYCZNOŚCI

Przepływ energii elektrycznej jest nierozłącznie związany z ruchem ładunków elektrycznych. Ilość ładunków elektrycznych przepływających przez dany przewodnik jest proporcjonalna do natężenia prądu i do czasu.

Ilość elektryczności mierzy się w kulombach (C) lub amperosekundach [As]. Jest to taka ilość elektryczności, która przepływa przez poprzeczny przekrój przewodnika w ciągu 1 sekundy przy natężeniu prądu wynoszącym 1 Amper

$$Q = I \cdot t \qquad 1\,[C] = 1\,[As]$$

$$I = \frac{Q}{t}; \quad t = \frac{Q}{I} \qquad 1\,[Ah] = 3600\,[As] = 3600\,[C]$$

Q — ilość elektryczności [C]; t — czas [s]

I — natężenie prądu [A]

CHEMICZNE DZIAŁANIE PRĄDU

Prąd elektryczny przepływając przez elektrolity wydziela z nich ich części składowe. Ilość mateiiału wydzielonego na elektrodzie przez prąd elektryczny jest proporcjonalna do natężenia prądu płynącego przez elektrolit oraz do czasu.

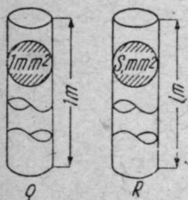
$$Q = k \cdot I \cdot t; \qquad I = \frac{Q}{k \cdot t}; \qquad t = \frac{Q}{k \cdot I}$$

Dla miedzi $k = 0{,}330$ [mg/As]
„ srebra $k = 1{,}118$
„ niklu $k = 0{,}304$
„ chromu $k = 0{,}180$

Q — ilość elektryczności [C]
I — natężenie prądu [A]
k — elektrochemiczny równoważnik [mg/As]
t — czas [s]

OPORNOŚĆ DRUTÓW

Ładunki elektryczne przepływające przez przewodniki napotykają na opór, jaki stawia im dany materiał. Te właściwości przewodnika nazywa się jego opornością elektryczną. Oporność elektryczna jest mierzona w jednostkach zwanych omami [Ω].



Rys. 3

$$R = \frac{\varrho \cdot l}{s} \qquad R = 1{,}25\, \varrho \frac{l}{d^2}$$

$$s = \frac{\varrho \cdot l}{R}; \qquad l = \frac{R \cdot s}{\varrho}; \qquad \varrho = \frac{R \cdot s}{l}$$

$$\varrho = \frac{1}{\gamma}; \qquad \gamma = \frac{1}{\varrho}$$

$$R = \frac{l}{\gamma \cdot s}; \qquad s = \frac{l}{\gamma \cdot R}; \qquad l = R \cdot s \cdot \gamma;$$

$$\gamma = \frac{l}{R \cdot s}$$

Dla drutów o przekroju kołowym

$$R = \frac{4 \cdot \varrho \cdot l}{d^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot l}{\gamma \cdot d^2 \cdot \pi}$$

R — oporność [Ω]
l — długość drutu [m]
s — powierzchnia przekroju [mm²]
ϱ — oporność właściwa [Ω mm²/m]
γ — przewodność właściwa [S·m/mm²]
d — średnica drutu [mm]

DOPUSZCZALNE OBCIĄŻENIE PRZEWODÓW

Prąd elektryczny przepływając przez przewód nagrzewa go. Stopień nagrzania przewodu jest tym większy im większe jest natężenie prądu elektrycznego i im mniejsza jest powierzchnia przekroju przewodu. Aby nie nastąpiło zbyt duże nagrzewanie się przewodów ich przekrój powinien być dobierany do obciążenia. Stopień nagrzania zależy również od warunków chłodzenia. Przy obliczeniach za podstawę przejmuje się dopuszczalną wartość natężenia prądu na jeden mm². W praktyce stosuje się następujące średnie gęstości prądów.

1. Dla opornic jednowarstwowych na korpusach ceramicznych 6...10 A/mm².

2. Dla uzwojeń elektromagnesów, przekaźników, dzwonków, przy pracy krótkotrwałej 4...5 A/mm².
3. Dla uzwojeń transformatorów, przekaźników, oporników wielowarstwowych przy pracy ciągłej do 75 W 2...3 A/mm², dla mocy od 75 do 300 W 1,5 A/mm².
4. Dla boczników i oporników dodatkowych przyrządów pomiarowych 1 A/mm².
5. Dla przyrządów grzejnych 8...20 A/mm².

Średnicę przewodu dla danego prądu określa się z zależności

$$d = 1{,}13\sqrt{\frac{I}{\gamma}}$$

gdzie:

d – średnica przewodu [mm],
I – prądu [A],
γ – gęstość prądu [A/mm²].

Przykład: Jaką średnicę powinien mieć przewód uzwojenia transformatora o mocy 40 W, jeżeli prąd płynący przez to uzwojenie wynosi 0,3 A. (Przyjmujemy $\varrho = 2$ A/mm²).

$$d = 1{,}13\sqrt{\frac{0{,}3}{2}} = 0{,}44 \text{ mm}$$

CIEPLNE DZIAŁANIE PRĄDU

Energia elektryczna tracona przy przepływie prądu przez przewodniki zostaje zamieniona w ciepło. Ilość ciepła wydzielająca się przy przepływie prądu wynosi:

$$Q = 0{,}24\, I^2 Rt$$

gdzie:

Q – ilość ciepła [cal]
I – natężenie prądu [A]
R – oporność [Ω]
t – czas [s]

MAGNETYCZNE DZIAŁANIE PRĄDU

Stały prąd elektryczny płynący przez uzwojenie wytwarza pole magnetyczne, które oddziałuje na inne pole magnetyczne (magnesu trwałego lub cewki). W przyrządach pomiarowych (wskaźnikach) zazwyczaj jeden układ związany z polem magnetycznym jest stały (nieruchomy), a drugi ruchomy. Która część przyrządu jest ruchoma, a która stała

zależy od konstrukcji przyrządu i od rodzaju zjawiska elektromagnetycznego wykorzystywanego w przyrządzie. Przy niezmiennej konstrukcji przyrządu siła pola magnetycznego zależy tylko od liczby amperozwojów. Podczas remontu przyrządu należy ściśle przestrzegać danych fabrycznych odnośnie liczby zwojów uzwojeń oraz typu i średnicy. Podczas przeróbek przyrządu na inny prąd należy przestrzegać, aby iloczyn

$$I_1 z_1 = I_2 z_2$$

Liczba nowa zwojów: $z_2 = \frac{I_1}{I_2} z_1$

Średnicą przewodu nowego: $d_2 = \sqrt{\frac{d_1}{k}}$, gdzie k — współczynnik przeliczeniowy $k = \frac{I_1}{I_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{U_2}{U_1}$

Oporność nowego przewodu $R_2 = R_1 \cdot k^2$

I — prąd w uzwojeniu [A]
z — liczba zwojów
R — oporność uzwojenia [Ω]

Przykład: amperomierz elektromagnetyczny o skali 6 A ma cewkę złożoną z $z_1 = 16$ zwojów przewodu o średnicy $d_1 = 1{,}8$ mm. Jak należy przezwoić cewkę aby wskazówka wychylała się na całą skalę przy prądzie 1,5 A.

$$k = \frac{I_1}{I_2} = \frac{6}{1{,}5} = 4$$

$$z_2 = z_1 \cdot k = 16 \cdot 4 = 64 \text{ zwojów}$$

$$d_2 = \frac{d_1}{k} = \frac{1{,}8}{4} = 0{,}9 \text{ mm}$$

ZALEŻNOŚĆ OPORNOŚCI PRZEWODÓW OD TEMPERATURY

Pod wpływem zmian temperatury zmienia się również oporność przewodu. Zazwyczaj oporność przewodu wzrasta wraz ze wzrostem temperatury. Zmiany oporności właściwej danego materiału charakteryzuje współczynnik temperaturowy α.

$$R_t = R\,[1 + \alpha\,(t - 20)] \qquad t = 20 + \frac{R_t - R}{\alpha \cdot R}$$

$$R_t = \frac{\varrho \cdot l}{s}\,[1 + \alpha\,(t - 20)] \qquad R = \frac{R_t}{1 + \alpha\,(t - 20)}$$

$$\alpha = \frac{R_t - R}{R(t-20)}$$

$$\varrho_t = \varrho [1 + \alpha (t - 20)$$

$$l = \frac{s \cdot R}{\varrho} = \gamma \cdot s \cdot R$$

Dla miedzi:

$$\Delta t = 253 \frac{R_t - R}{R}$$

$$l = 57 \cdot s \cdot R$$

R — oporność w 20° C

R_t — oporność w temperaturze t° C

α — współczynnik temperaturowy 1/(°C)

t — temperatura robocza °(C)

ϱ — oporność właściwa $\left[\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}\right]_{t=20°C}$

Δt — różnica dowolnej temperatury i temperatury odniesienia [20°C)

γ — przewodność właściwa przewodnika $\left[\frac{m}{\Omega \cdot mm^2}\right]_{t=20°C}$

Tablica 6

Oporność właściwa ϱ oraz współczynnik temperaturowy przewodów α

Materiał	Oporność właściwa ϱ w temp. 20°C (Ω mm²/m)	Współczynnik temperaturowy α
Aluminium	0,028	0,0049
Wolfram	0,055	0,0045
Mosiądz	0,025 ... 0,06	0,002 ... 0,007
Miedź	0,0175	0,0039
Molibden	0,057	0,0033
Nikiel	0,100	0,0050
Cyna	0,115	0,0042
Rtęć	0,958	0,0009
Ołów	0,221	0,0041
Srebro	0,016	0,0038
Stal	0,098	0,0062
Tantal	0,155	0.0031
Węgiel	0,33 ... 1,85	±0,0006
Chrom	0,027	—
Cynk	0,059	0,0035

Uwaga: podane wartości są wartościami średnimi. Wartości rzeczywiste zależą od stopnia czystości materiału, obróbki termicznej itp.

PRAWO OHMA

Natężenie prądu w obwodzie jest wprost proporcjonalne do napięcia, a odwrotnie proporcjonalne do oporności tego obwodu

$$I = \frac{U}{R}; \qquad U = I \cdot R; \qquad R = \frac{U}{I}$$

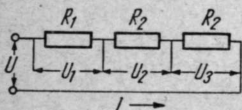
I — natężenie prądu [A]
U — napięcie [V]
R — oporność obwodu [Ω]

Przykład. O ile woltów zmaleje napięcie na anodzie lampy, jeżeli w obwód anodowy włączymy opornik o oporności 20 kΩ, a prąd anodowy wynosi nadal 1,7 mA.

$$\Delta U = 1{,}7 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot 10^{3} = 34 \text{ V}$$

SZEREGOWE ŁĄCZENIE OPORNOŚCI

Oporność wypadkowa (R_w) równa się w sumie oporności składowych (R_1, R_2, R_3, ..., R_n).



Rys. 4

$$R_w = R_1 + R_2 + R_3$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

$$U_1 : U_2 : U_3 = R_1 : R_2 : R_3$$

Jeżeli $R_1 = R_2 = R_3$ .... to:

$$R_w = n \cdot R_1; \qquad U_w = n \cdot U$$

Jeżeli są tylko dwie oporności, to:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}; \qquad U_1 = \frac{R_1 \cdot U_2}{R_2}$$

$$U_2 = \frac{R_2 \cdot U_1}{R_1}; \qquad R_1 = \frac{U_1 \cdot R_2}{U_2}$$

$$R_2 = \frac{U_2 \cdot R_1}{U_1}; \qquad R_w = \frac{U \cdot R_1}{U_1}$$

$$I = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \frac{U}{R_w}$$

R_w — oporność wypadkowa [Ω],
$R_1, R_2, R_3, ..., R_n$ — oporności składowe [Ω]
U — napięcie zasilające [V]
$U_1, U_2, U_3, ..., U_n$ — napięcia składowe [V]
I — natężenie prądu [A]

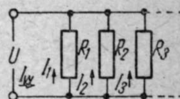
RÓWNOLEGŁE ŁĄCZENIE OPORNOŚCI

Odwrotność oporności wypadkowej $\left(\frac{1}{R_w}\right)$ równa się sumie odwrotności oporności składowych $\left(\frac{1}{R_1}; \frac{1}{R_2}; \frac{1}{R_3}; \ldots \frac{1}{R_n}\right)$.

$$\frac{1}{R_w} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots \frac{1}{R_n}$$

$$G_w = G_1 + G_2 + G_3 + \ldots G_n$$

$$I_w = I_1 + I_2 + I_3 + \ldots I_n$$



Rys. 5

Jeżeli $R_1 = R_2 = R_3 \ldots = R_n$, to

$$R_w = \frac{R_1}{n}; \qquad I = \frac{I_w}{n}$$

Stosunek prądów:

$$I_1 : I_2 : I_3 : \ldots I_n = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3} : \ldots \frac{1}{R_n} = G_1 : G_2 : G_3 : \ldots G_n$$

Jeżeli równoległe są tylko trzy oporności, to:

$$R_w = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}$$

Jeżeli równoległe są tylko dwie oporności, to:

$$R_w = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}; \qquad R_1 = \frac{R_2 \cdot R_w}{R_2 - R_2}; \qquad R_2 = \frac{R_1 \cdot R_w}{R_1 - R_w}$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{I_2}{I_1}; \qquad \frac{R_w}{R_1} = \frac{I_1}{I_w}; \qquad \frac{R_w}{R_2} = \frac{I_2}{I_w}$$

$$I_1 = \frac{I_2 \cdot R_2}{R_1}; \qquad I_2 = \frac{I_1 \cdot R_1}{R_2}; \qquad I_w = \frac{I_1 \cdot R_1}{R_w}$$

$$R_1 = \frac{I_2 \cdot R_2}{I_1}; \qquad R_2 = \frac{I_1 \cdot R_1}{I_2}; \qquad R_w = \frac{I_1 \cdot R_1}{I_w}$$

$$U = I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_2 = I_w \cdot R_w$$

R_w — oporność wypadkowa [Ω]
$R_1, R_2, R_3, \ldots, R_n$ — oporności składowe [Ω]
I_w — prąd wypadkowy [A]

$I_1, I_2, I_3, ..., I_n$ — prądy składowe [A]
$G_1, G_2, G_3, ..., G_n$ — przewodności składowe [s]
U — napięcie [V]

Przy równoległym przyłączeniu R_2, na przykład dołączeniu woltomierza do opornika R_1 (rys. 6*a*) prąd całkowity

$$I_w = I_1\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$$

a przyrost natężenia prądu w procentach:

$$\Delta I = 100\frac{R_1}{R_2}\ [\%]$$

Rys. 6

Przy odłączeniu równoległej oporności R_2 od oporności R_1, na przykład przy odłączeniu się opornika (rys. 6*b*);

$$I_1 = \frac{I_w \cdot R_2}{(R_1 + R_2)}$$

a procentowe zmniejszenie się prądu

$$\Delta I = 100\frac{R_1}{R_1 + R_2}\quad [\%]$$

Przykład

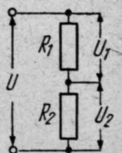
Dane: $R_1 = 500\ \Omega$; $R_2 = 750\ \Omega$; $R_3 = 1000\ \Omega$

Obliczenie: $$\frac{1}{R_w} = \frac{1}{500} + \frac{1}{750} + \frac{1}{1000} = \frac{13}{3000}$$

$$R_w = \frac{3000}{13} \approx 230\ \Omega$$

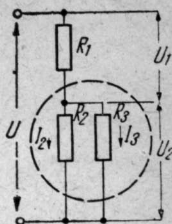
DZIELNIK NAPIĘCIA

$$U = U_1 + U_2; \qquad U_1 = U - U_2; \qquad U_2 = U - U_1$$



Rys. 7

$$R_{2,3} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$$



Rys. 8

$$R_w = R_{2,3} + R_1; \quad R_{2,3} = R_w - R_1; \quad R_1 = R_w - R_{2,3}$$

$$\frac{U}{U_2} = \frac{R_w}{R_{2,3}}; \quad \frac{U}{U_1} = \frac{R_w}{R_1}; \quad \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_{2,3}}{R_1}$$

$$U = \frac{U_2 \cdot R_w}{R_{2,3}} = \frac{U_1 \cdot R_w}{R_1} = I_w \cdot R_w$$

$$U_2 = \frac{U \cdot R_{2,3}}{R_w} = \frac{U_1 \cdot R_{2,3}}{R_1} = I_w \cdot R_{2,3} = I_2 \cdot R_2 = I_3 \cdot R_3$$

$$U_1 = \frac{U \cdot R_1}{R_w} = \frac{U_2 \cdot R_1}{R_{2,3}} = I_w \cdot R_1$$

$$I_w = \frac{U}{R_w} = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_{2,3}}$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2}; \quad I_3 = \frac{U_2}{R_3}$$

U – napięcie wypadkowe [V]
I_w – prąd wypadkowy [A]
R_1, R_2 – oporność dzielnika [Ω]
R_3 – oporność obciążająca dzielnik [Ω]
$R_{2,3}$ – oporność zastępcza równolegle połączonych R_2 i R_3 [Ω]
R_w – oporność wypadkowa [Ω]
U_1 – napięcie na R_1 [V]
U_2 – napięcie na R_2 [V]
I_1 – prąd płynący przez R_1 [A]
I_2 – prąd płynący przez R_2 [A]
I_3 – prąd płynący przez obciążenie [A]

Przykład

Dane: nie obciążony dzielnik napięcia składający się z opornika $R_1 = 75$ kΩ; $R_2 = 25$ kΩ jest zasilany napięciem 100 V. Napięcie U_2 na oporniku R_2 jest mierzone woltomierzem o oporności 50 kΩ. Jakie napięcie wskaże woltomierz?

Obliczenie:

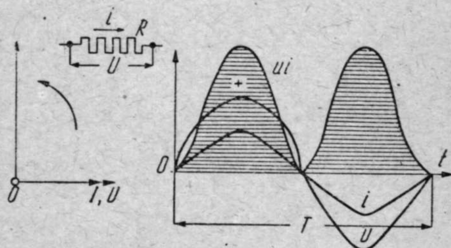
$$R_{2,3} = \frac{25 \cdot 50}{25 + 50} = 16{,}7 \text{ k}\Omega$$

$$U_{2,3} = \frac{16{,}7}{75 + 16{,}7} \cdot 100 = 18{,}2 \text{ V}$$

OPORNOŚCI CZYNNE W OBWODZIE PRĄDU ZMIENNEGO

1. Prąd i jest zgodny w fazie z napięciem doprowadzonym u (rys. 9). Jeżeli napięcie zmienia się zgodnie z zależnością:

$$u = U_{max} \sin \omega t$$



Rys. 9

to prąd zmienia się zgodnie z zależnością

$$i = I_{max} \sin \omega t$$

2. W każdej chwili prąd i równa się stosunkowi napięcia u do oporności R:

$$i = \frac{u}{R}; \qquad i = \frac{U_{max}}{R} \sin \omega t$$

3. Maksymalna wartość prądu równa się

$$I_{max} = \frac{U_{max}}{R}$$

4. Skuteczna wartość prądu równa się:

$$I = \frac{U}{R}$$

5. Moc prądu zmiennego przy obciążeniu opornością czynną R równa się:

$$P = U \cdot I \quad \text{lub} \quad P = I^2 R$$

AKUMULATORY

Akumulator ołowiowy

Napięcie ładowania:

$$U_l = 2{,}75 \cdot n$$

Liczba ogniw:

$$n = \frac{U}{1{,}8}$$

Oporność wewnętrzna

$$R_w = \frac{0{,}15}{\text{Ah}}$$

Akumulator żelazo-niklowy

$$U_l = 1{,}85 \cdot n$$

Liczba ogniw:

$$n = \frac{U}{1{,}2}$$

U — napięcie znamionowe [V]
U_l — napięcie ładowania [V]
n — liczba ogniw
Ah — pojemność ogniwa [Ah]
R_w — oporność wewnętrzna [Ω]

STRUMIEŃ INDUKCJI MAGNETYCZNEJ

Strumień indukcji magnetycznej Φ jest równy iloczynowi natężenia indukcji magnetycznej B przez pole powierzchni A prostopadłej do strumienia.

$$\Phi = B \cdot A$$

$$\Phi = \mu \cdot \mu_0 \cdot H \cdot A$$

$$\Phi = \mu \cdot H \cdot A \cdot 1{,}256 \cdot 10^{-8}$$

$$\Phi = \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot I \cdot z \cdot A}{l}$$

$$\Phi = \frac{I \cdot z}{R_m}$$

$$\Phi = \frac{B \cdot l}{R_m}$$

$$\Phi = \frac{M_m}{R_m}$$

$$\Phi = \frac{H \cdot l}{R_m \cdot \mu \cdot \mu_0}$$

$$\Phi = \frac{M_m \cdot A \cdot \mu \cdot \mu_0}{l}$$

$$\Phi = \frac{M_m \cdot l}{z^2}$$

$$\Phi = \frac{L \cdot I}{z}$$

$$\Phi = \frac{L \cdot H \cdot l}{z^2}$$

INDUKCJA MAGNETYCZNA

Natężenie indukcji magnetycznej B lub indukcja magnetyczna wyraża się iloczynem bezwzględenj przenikalności magnetycznej $\mu \cdot \mu_0$ danego środowiska przez natężenie pola magnetycznego H

$$B = \mu \cdot \mu_0 \cdot H \qquad B = \frac{H \cdot l}{A \cdot R_m}$$

$$B = \frac{\Phi}{A} \qquad B = \frac{\Phi}{A \cdot R_m}$$

$$B = \mu \cdot H \cdot 1{,}256 \cdot 10^{-8}$$

$$B = \frac{\mu \cdot \mu_0 \, I \cdot z}{l} \qquad B = \frac{M_m \cdot L}{A \cdot z^2}$$

$$B = \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot M_m}{l} \qquad B = \frac{H \cdot l \cdot L}{A \cdot z^2}$$

$$B = \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot \Phi \cdot R_m}{l}$$

$$B = \frac{I \cdot z}{A \cdot R_m} \qquad B = \frac{I \cdot L}{A \cdot z}$$

NATĘŻENIE POLA MAGNETYCZNEGO

Natężeniem pola magnetycznego H w danym punkcie nazywamy stosunek siły P działającej na umieszczoną w danym punkcie masę magnetyczną do wartości masy magnetycznej m

$$H = \frac{P}{m}$$

Wymiarem natężenia pola magnetycznego jest w układzie esCGS $H = \left[g^{\frac{1}{2}} \cdot cm^{\frac{1}{2}} \cdot sek^{-2}\right]$, a w układzie CGS Gaussa i elektromagnetycznym $H = \left[g^{-\frac{1}{2}} \cdot cm^{\frac{1}{2}} \cdot sek^{-1}\right]$. Jednostką w układzie elektromagnetycznym jest ersted (Oe).

$$H = \frac{B}{\mu \cdot \mu_0} \qquad H = \frac{\Phi \cdot R_m}{l}$$

$$H = \frac{B \cdot 0{,}8 \cdot 10^8}{\mu} \qquad H = \frac{B \cdot A \cdot R_m}{l}$$

$$H = \frac{\Phi}{\mu \cdot \mu_0 \cdot A} \qquad H = \frac{\Phi \cdot z^2}{I \cdot L}$$

$$H = \frac{B \cdot A \cdot z^2}{l \cdot L}$$

$$H = \frac{I \cdot L}{\mu \cdot \mu_0 \cdot A \cdot z}$$

$$H = \frac{M_m \cdot L}{\mu \cdot \mu_0 \cdot A \cdot z^2}$$

$$H = \frac{I \cdot z}{\mu \cdot \mu_0 \cdot A \cdot R_m}$$

$$H = \frac{M_m}{\mu \cdot \mu_0 \cdot A \cdot R_m}$$

OPORNOŚĆ MAGNETYCZNA

Opornością magnetyczną R_m nazywamy stosunek siły magnetomotorycznej M_m do natężenia strumienia indukcji magnetycznej Φ

$$R_m = \frac{M_m}{\Phi}$$

$$R_m = \frac{H \cdot l}{\Phi}$$

$$R_m = \frac{l}{\mu' \cdot A}$$

$$R_m = \frac{H \cdot l}{B \cdot A}$$

$$R_m = \frac{l \cdot 0{,}8 \cdot 10^8}{\mu \cdot A}$$

$$R_m = \frac{I \cdot z}{\Phi}$$

$$R_m = \frac{1}{\Lambda}$$

$$R_m = \frac{I \cdot z}{A \cdot B}$$

$$R_m = \frac{M_m}{B \cdot A}$$

$$R_m = \frac{I \cdot z}{\mu \cdot A}$$

$$R_m = \frac{M_m}{\mu' \cdot H \cdot A}$$

$$R_m = \frac{z^2}{L}$$

$$R_m = \frac{B \cdot L}{\mu' \cdot \Phi}$$

PRZEWODNOŚĆ MAGNETYCZNA

Przewodnością magnetyczną Λ nazywamy odwrotność oporności magnetycznej R_m

$$\Lambda = \frac{1}{R_m}$$

$$\Lambda = \frac{\Phi}{M_m}$$

$$\Lambda = \frac{\mu' \cdot A}{l}$$

$$\Lambda = \frac{B \cdot A}{M_m}$$

$$\Lambda = \frac{\mu \cdot A \cdot 1{,}256}{l \cdot 10^8}$$

$$\Lambda = \frac{\mu' \cdot H \cdot A}{M_m}$$

$$\Lambda = \frac{\Phi}{H \cdot l} \qquad \Lambda = \frac{B \cdot A}{I \cdot z}$$

$$\Lambda = \frac{B \cdot A}{H \cdot l} \qquad \Lambda = \frac{\mu' \cdot H \cdot A}{I \cdot z}$$

$$\Lambda = \frac{\Phi}{I \cdot z} \qquad \Lambda = \frac{L}{z^2} \qquad \Lambda = \frac{\mu' \cdot \Phi}{B \cdot l}.$$

SIŁA MAGNETOMOTORYCZNA

Jeżeli przewodnik elektryczny długości l przesuwany jest w polu magnetycznym o natężeniu H, to w przewodniku tym powstaje siła magnetomotoryczna

$$M_m = H \cdot l$$

Jeżeli źródłem siły magnetomotorycznej M_m jest przewodnik elektryczny z razy zwinięty (z zwojów), w którym płynie prąd I, to siła magnetomotoryczna

$$M_m = z \cdot I \qquad M_m = \frac{\Phi \cdot l \cdot 0{,}8 \cdot 10^8}{A \cdot \mu}$$

$$M_m = \Phi \cdot R_m$$

$$M_m = \frac{\Phi}{\Lambda} \qquad M_m = \frac{B \cdot A \cdot z^2}{L}$$

$$M_m = \frac{B \cdot A}{\Lambda} \qquad M_m = \frac{\mu' \cdot H \cdot A \cdot z^2}{L}$$

$$M_m = B \cdot A \cdot R_m \qquad M_m = \frac{\mu' \cdot I \cdot A \cdot z^3}{l \cdot L}$$

$$M_m = \frac{\mu' \cdot H \cdot A}{\Lambda} \qquad M_m = \frac{\mu' \cdot I \cdot A \cdot z \cdot R_m}{l}$$

$$M_m = \mu' \cdot H \cdot A \cdot R_m$$

$$M_m = \frac{\Phi \cdot l}{A \cdot \mu'} \qquad M_m = \frac{\mu' \cdot I \cdot A \cdot z}{l \cdot \Lambda}$$

INDUKCYJNOŚĆ WŁASNA (SAMOINDUKCJA)

Indukcyjność własna wyraża się stosunkiem iloczynu strumienia indukcji magnetycznej Φ oraz liczby zwojów z do natężenia prądu elektrycznego I pizepływającego przez te zwoje.

Jednostką indukcyjności własnej L jest henr [H]. 1 henr jest miarą indukcyjności takiego obwodu, przez który przechodzi strumień równy 1 weberowi przy prądzie w nim wynoszącym 1 A.

$$L = \frac{z \cdot \Phi}{I}$$

$$L = z^2 \cdot \Lambda$$

$$L = \frac{z^2}{R_m}$$

$$L = \frac{z^2 \cdot \mu' \cdot A}{l}$$

$$L = \frac{z^2 \cdot \mu \cdot A \cdot 1{,}256}{l \cdot 10^8}$$

$$L = \frac{z^2 \cdot \Phi \cdot \mu'}{B \cdot l}$$

$$L = \frac{z^2 \cdot \Phi}{H \cdot L}$$

$$L = \frac{z^2 \cdot B \cdot A}{M_m}$$

$$L = \frac{z^2 \cdot \Phi}{M_m}$$

$$L = \frac{z^2 \cdot B \cdot A}{H \cdot l}$$

$$L = \frac{z \cdot B \cdot A}{I}$$

$$L = \frac{z \cdot \mu' \cdot H \cdot A}{I}$$

$$L = \frac{z \cdot H \cdot l \cdot \Lambda}{I}$$

$$L = \frac{z \cdot H \cdot l}{I \cdot R_m}$$

$$L = \frac{z \cdot M_m \cdot \Lambda}{I}$$

$$L = \frac{z \cdot M_m}{I \cdot R_m}$$

Φ — strumień indukcji magnetycznej [Mx]
1 [Mx] = 10^{-8} woltosekund, [Vs]
B — indukcja magnetyczna, linie sił na cm² [Gs]

$$1\ \mathrm{Gs} = 10^{-8} \left[\frac{\mathrm{Vs}}{\mathrm{cm}^2}\right]$$

A — powierzchnia przekroju [cm²]
μ — przenikalność względna (dla próżni = 1)
μ' — przenikalność bezwzględna danego środowiska
H — natężenie pola magnetycznego $\left[\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{cm}}\right]$; $1\left[\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{cm}}\right] = 1{,}256$ [Oe]
I — natężenie prądu [A]
z — liczba zwojów
l — średnia długość linii sił [cm]
R_m — oporność magnetyczna $\left[\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{Mx}}\right]$

Λ — przewodność magnetyczna $\left[\frac{\text{Mx}}{\text{A}}\right]$
M_m — siła magnetomotoryczna [A]
L — indukcyjność [H]

PRZYCIĄGANIE MAGNESÓW

Energia w polu magnetycznym

$$W = \frac{L \cdot I^2}{2}$$

Siła przyciągania żelaza

$$F \approx \left(\frac{B}{5000}\right)^2 \cdot A$$

Działanie siły na przewodnik z prądem umieszczony w polu magnetycznym

$$F = z \cdot B \cdot l \cdot I \cdot 10{,}2 \cdot 10^{-8}$$

Działanie siły na dwa przewodniki równoległe z prądem

$$F = 2{,}04 \cdot \frac{1}{a} \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot 10^{-8}$$

W — energia w polu magnetycznym [Ws]
1 Ws = 10,2 [kGcm]
L — indukcyjność [H]
I — prąd [A]
F — siła [kG]
B — wartość bezwzględna indukcji magnetycznej [Gs]
A — powierzchnia przekroju [cm^2]
z — liczba przewodów
l — długość przewodnika [cm]
a — odległość między przewodnikami [cm]

DZIAŁANIE INDUKCYJNE MAGNESÓW

Siła elektromotoryczna (sem.) indukcji

$$e = -z \cdot B \cdot l \cdot v \cdot 10^{-8}$$

$$e = -n \frac{d\Phi}{dt} \cdot 10^{-8}$$

przy równomiernej zmianie strumienia:

$$e = -n \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{t_2 - t_1} \cdot 10^{-8}$$

Siła elektromotoryczna (sem.) samoindukcji:

$$e = -L \frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$$

przy równomiernej zmianie prądu

$$e = -L \cdot \frac{I_1 - I_2}{t_2 - t_1}$$

Indukcja magnetyczna dookoła przewodnika z prądem

$$B = 0{,}2 \frac{I}{a}$$

Indukcja magnetyczna wewnątrz przewodnika z prądem

$$B = 0{,}2 \frac{a \cdot I}{r^2}$$

Przebieg zmian natężenia prądu przy włączeniu cewki pod napięcie stałe

$$i = I\left(1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

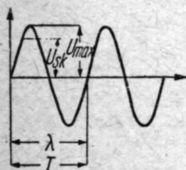
Przebieg zmian natężenia prądu przy odłączeniu cewki od napięcia stałego

$$i = I \cdot \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}},$$

e — wartość chwilowa sem. [V]
z — liczba przewodników
B — wartość bezwzględna indukcji magnetycznej [Gs]
l — długość przewodnika [cm]
v — prędkość [cm/s]
n — liczba zwojów
Φ — strumień magnetyczny [Mx]
t — czas [s]
L — indukcyjność [H]
I — natężenie prądu [A]
i — wartość chwilowa natężenia prądu [A]
a — odległości między środkami przewodów [cm]
τ — stała czasowa $\tau = \frac{L}{R}$ [s]

PRĄD ZMIENNY

Prąd zmieniający swą wartość w czasie. W elektrotechnice zastosowanie znalazły prądy zmienne w czasie okresowo (periodycznie) o kształcie sinusoidalnym (rys. 10).



Rys. 10

$$U_{max} = U \cdot \sqrt{2} = U \cdot 1{,}414$$

$$U_{max} = \frac{U}{0{,}707}$$

$$U = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{U_{max}}{1{,}414} = U_{max} \cdot 0{,}707$$

$$U_{ss} = 2U_{max} = 2{,}828 \cdot U$$

U_{max} — napięcie szczytowe (maksymalne) [V]
U — napięcie skuteczne [V]
U_{ss} — napięcie od szczytu do szczytu [V]

CZĘSTOTLIWOŚĆ ORAZ DŁUGOŚĆ FALI

Okres — czas T, w ciągu którego prąd lub napięcie przechodzi przez pełny cykl zmian.

Częstotliwość — liczba okresów w ciągu jednostki czasu. Częstotliwość mierzy się w hercach.

c = 300 000 km/sek — prędkość światła (dokładnie: 299 780 km/sek)

$$f \cdot \lambda = c$$

$$\lambda = \frac{c}{f}; \quad f = \frac{c}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{300}{f}; \quad f = \frac{300}{\lambda}$$

$$T = \frac{1}{f}\,; \quad f = \frac{1}{T}\,; \quad T \cdot f = 1 \quad T = \frac{\lambda}{300\,000}$$

Prędkość rozprzestrzeniania się energii elektromagnetycznej w dowolnym ośrodku

$$c' = \frac{c}{\sqrt{\mu \cdot \varepsilon}}$$

λ – długość fali [m]
$\lambda = 300\,000 \cdot T$ (w wolnej przestrzeni)
$T = \frac{\lambda}{300}$ [μs, m]
f – częstotliwość [Hz]
T – okres
c – prędkość światła
n – liczba obrotów w ciągu minuty
p – liczba par biegunów.

Częstotliwość prądu zmiennego wytwarzanego przez generator o liczbie obrotów n i liczbie par biegunów p:

$$f = \frac{p \cdot n}{60}$$

Częstotliwość kątowa (pulsacja) prądu zmiennego ω

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} = 2 \cdot \pi \cdot f$$

W Polsce $f = 50$, stąd

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 50 = 314 \ [s^{-1}]$$

Wartość prądu lub napięcia w ściśle określonej chwili nazywa się wartością chwilową i oznaczana jest małymi literami i oraz u.

$$i = I_{max} \sin \omega t;$$
$$u = U_{max} \sin \omega t.$$

Prądy oraz napięcia zmieniające się sinusoidalnie można przedstawić graficznie:

1. W prostokątnym układzie współrzędnych, odkładając na osi rzędnych wartości zmienne, a na osi odciętych – kąty.
2. W układzie współrzędnych biegunowych w postaci wektora proporcjonalnego do amplitudy obracającego się równomiernie w kierunku przeciwnym do obrotu wskazówek zegara.

Tablica 7

Zamiana długości fal λ na częstotliwość f w wolnej przestrzeni

λ [m]	f [kHz]	λ [m]	f [kHz]	λ [m]	f [kHz]	λ [m]	f [kHz]	λ [m]	f [kHz]
1	300 000	40	7500	340	882,5	700	428,6	1150	260,9
2	150 000	45	6667	360	839,5	720	416,7	1200	250,0
3	100 000	50	6000	380	789,5	740	405,4	1250	240,0
4	75 000	70	4286	400	750,0	760	394,7	1300	230,8
5	60 000	80	3750	420	714,3	780	384,6	1350	222,2
6	50 000	90	3333	440	681,8	800	375,0	1400	214,3
7	42 857	100	3000	460	657,2	820	365,8	1450	206,9
8	37 500	120	2500	480	625,0	840	357,1	1500	200,0
9	33 333	140	2143	500	600,0	860	348,8	1550	193,5
10	30 000	160	1875	520	576,9	880	340,9	1580	189,9
12	25 000	180	1667	540	555 6	900	333,3	1600	187,5
14	21 428	200	1500	560	535,2	920	326,0	1650	181,8
16	18 750	220	1364	580	517,5	940	310,1	1700	176,5
18	16 667	240	1250	600	500,0	960	312,5	1750	171,4
20	15 000	260	1154	620	483,9	980	306,1	1800	166,7
25	12 000	280	1071	640	468,8	1000	300,0	1850	162,2
30	10 000	300	1000	660	454,5	1050	295,7	1900	157,9
35	8 571	320	937,5	680	441,2	1100	272,7	1950	153,8
								2000	150,0
								3000	100,0

PRAWO OHMA DLA PRĄDU ZMIENNEGO

Przy przepływie prądu zmiennego przez obwód elektryczny złożony z oporników, kondensatorów i cewek wpływ na natężenie prądu mają również pojemności i indukcyjności. Noszą one nazwę oporności biernych (nie pobierających mocy). Łączna oporność, jaką przedstawiają wszystkie elementy czynne i bierne nosi nazwę oporności pozornej Z.

Dla prądu zmiennego

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(2 \cdot \pi \cdot f \cdot L - \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}\right)^2}}$$

gdzie: I — wartość skuteczna natężenia prądu zmiennego [A]
U — napięcie skuteczne prądu zmiennego [V]
Z — oporność pozorna [Ω]
R — oporność czynna [Ω]

X_L — oporność indukcyjna [Ω]
X_C — oporność pojemnościowa [Ω]
L — indukcyjność [H]
f — częstotliwość [Hz]
C — pojemność [F]

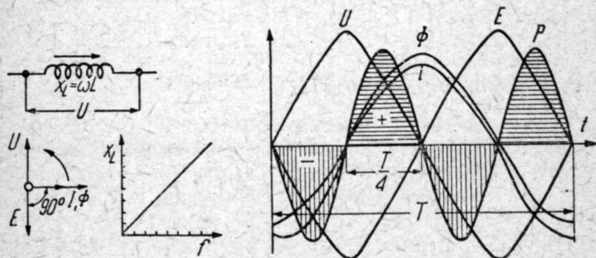
Przykład: filtr korekcji barwy dźwięku składa się z kondensatora $C = 10\,000$ pF połączonego szeregowo z opornikiem $R = 10\,000\ \Omega$. Obliczyć maksymalną wartość prądu I w obwodzie, jeżeli największa wartość, jaką może osiągnąć napięcie na zaciskach obwodu może wynosić 200 V, a zakres częstotliwości prądów roboczych: 100 ... 4000 Hz.

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(-\frac{1}{2\pi f C}\right)^2}} = \frac{200}{\sqrt{10000^2 + \left(-\frac{1}{6{,}28\cdot 4000\cdot 10^{-8}}\right)^2}} =$$

$$= 0{,}019 \text{ A} = 19 \text{ mA}$$

INDUKCYJNOŚĆ L W OBWODZIE PRĄDU ZMIENNEGO

Podczas przepływu prądu zmiennego przez indukcyjność dokoła cewki pojawia się pole magnetyczne zmienne. Linie sił zmiennego pola magnetycznego przecinają zwoje cewki i indukują w niej siłę elektromotoryczną samoindukcji.



Rys. 11

Jeżeli strumień zmienia się według zależności:

$$\Phi = \Phi_{max} \sin \omega t$$

to powstająca sem. samoindukcji będzie się zmieniała według zależności

$$e_L = -\Phi_{max} \cos \omega t$$

tzn. będzie ona opóźniać się w stosunku do strumienia o kąt 90° (rys. 11). Również będzie się ona opóźniała o 90° w stosunku do prądu.

$$e_L = L\, I_{max}\, \omega \sin(\omega t - 90°)$$

Wartość maksymalna sem. samoindukcji

$$E_{max} = L\, I_{max}\, \omega$$

Prąd w cewce

$$I = \frac{U}{L} = \frac{U}{X_L}$$

X_L — oporność indukcyjna.

Moc tracona w cewce indukcyjnej równa się zeru, gdyż przy wzroście prądu od zera do I_{max} w polu cewki energia się magazynuje, a przy maleniu prądu od I_{max} do zera, zmagazynowana energia powraca z powrotem.

$$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 6{,}28\, f L$$

$$\omega = \frac{X_L}{L}; \qquad f = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot L}; \qquad L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

$$I_L = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{\omega L}; \qquad X_L = \frac{U}{I_L}; \qquad \omega \cdot L = \frac{U}{I_L}; \qquad \varphi = 90°$$

X_L — oporność bierna indukcyjna (induktancja) [Ω]
L — indukcyjność [H]
f — częstotliwość [Hz]
ω — częstotliwość kątowa
I_L — prąd bierny indukcyjny [A]
φ — kąt fazowy

W celu określenia kąta przesunięcia fazy φ w obwodzie z indukcyjnością korzysta się z zależności

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

Przykład

Dane: indukcyjność dławika filtra $L = 10$ H; jego oporność $R = 3000\ \Omega$. Obliczyć całkowitą oporność dławika dla składowej zmiennej o częstotliwości 100 Hz.

$$X_L = 6{,}28 \cdot 100 \cdot 10 = 6280\ \Omega$$

$$Z = \sqrt{3000^2 + 6280^2} = 6950\ \Omega$$

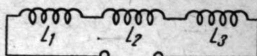
ŁĄCZENIE INDUKCYJNOŚCI

Przy szeregowym łączeniu indukcyjności (bez wzajemnego wpływu, rys. 12):

$L_w = L_1 + L_2 + L_3 + \ldots L_n$

L_w — indukcyjność wypadkowa

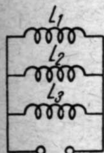
$L_1, L_2, L_3 \ldots L_n$ — indukcyjności składowe



Rys. 12

Przy równoległym łączeniu indukcyjności (bez wzajemnego wpływu, rys. 13):

$$\frac{1}{L_w} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \ldots \frac{1}{L_n}$$



Rys. 13

Przy dwóch indukcyjnościach równoległych:

$$L_w = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}\ ; \quad L_1 = \frac{L_2 \cdot L_w}{L_2 - L_w}\ ; \quad L_2 = \frac{L_1 \cdot L_w}{L_1 - L_w}$$

Przy trzech indukcyjnościach równoległych:

$$L_w = \frac{L_1 \cdot L_2 \cdot L_3}{L_1 \cdot L_2 + L_1 \cdot L_3 + L_2 \cdot L_3}$$

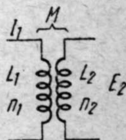
Przy równoległym połączeniu *n* równych indukcyjności

$$L_w = \frac{L_1}{n}$$

INDUKCYJNOŚĆ WZAJEMNA

W przypadku gdy strumień indukcji Φ jest spowodowany natężeniem prądu elektrycznego I przepływającym w sąsiednim obwodzie elektrycznym, to wartość tego strumienia jest proporcjonalna do natężenia prądu elektrycznego I (rys. 14):

$$z \cdot \Phi = M \cdot I$$



Rys. 14

Współczynnik proporcjonalności M nosi nazwę współczynnika indukcji wzajemnej lub indukcyjności wzajemnej:

$$M = \frac{\Phi_{max}}{I_1} \cdot n_2 \cdot 10^{-8}$$

Przy sinusoidalnym kształcie I_1, napięcie indukowane w cewce *2*:

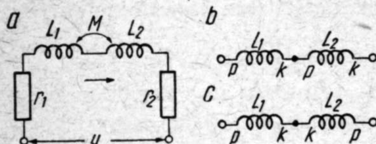
$$E_2 = -\mathrm{j} \cdot \omega \cdot M \cdot I_1$$

Współczynnik sprzężenia $k = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}}$

Indukcyjność rozproszenia

$$L_r = (1 - k^2) L_1$$

Indukcyjność dwóch cewek połączonych szeregowo i sprzężonych (rys. 15)



Rys. 15

$$L = L_1 + L_2 \pm 2M$$

Indukcyjność dwóch cewek równoległych sprzężonych

$$L = \frac{L_1 \cdot L_2 - M^2}{L_1 + L_2 \mp 2M}$$

M — indukcyjność wzajemna [H]
L_1 — indukcyjność cewki *1* [H]
L_2 — indukcyjność cewki *2* [H]
n_1 — liczba zwojów cewki *1*
n_2 — liczba zwojów cewki *2*
Φ_{max} — część strumienia cewki *1*, przecinającej uzwojenia cewki *2*
I_1 — prąd cewki *1* [A]
E_2 — napięcie indukowane w cewce *2* [V]

INDUKCYJNOŚĆ ELEMENTÓW

Indukcyjność prostego pojedynczego przewodu nad ziemią

$$L = 0{,}2 \cdot l \cdot \ln \frac{4000 \cdot h}{d}$$

L — indukcyjność [μH]
l — długość przewodu [m]
d — średnica przewodu [mm]
h — wysokość nad powierzchnią ziemi [m]

Indukcyjność przewodu podwójnego

$$L = 0{,}4 \cdot l \cdot \ln \frac{2 \cdot a}{d}$$

L — indukcyjność [μH]
d — średnica przewodów [mm]
l — długość przewodów [m]
a — odległość między przewodami [mm]

Indukcyjność przewodu współosiowego

$$L = 0{,}2 \cdot l \cdot \ln \frac{D}{d} \quad \text{dla } D \text{ i } d \ll l$$

L — indukcyjność [μH]
d — średnica zewnętrzna przewodu wewnętrznego [mm]
l — długość przewodu [m]
D — średnica wewnętrzna przewodu zewnętrznego [mm]

Indukcyjność konwencjonalnego dławika

$$L = 5 \cdot A \cdot \frac{n}{1000} \cdot \frac{1}{s \cdot 40}$$

L — indukcyjność [H]
n — liczba zwojów
$A_ż$ — przekrój żelaza [cm²]
s — szczelina powietrzna [mm]

Indukcyjność cewki jednowarstwowej
Wzór ogólny:

$$L = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot n^2}{l} \cdot k$$

L — indukcyjność [mH]
l — długość uzwojenia [cm]
n — liczba zwojów
D — średnica cewki [cm]
k — współczynnik zależny od stosunku $\frac{D}{l}$

Jeżeli $l > 0{,}4\, D$, to

$$L = \frac{D^2 \cdot n^2 \cdot 10^{-3}}{45 \cdot D + 100\, l}$$

Dla $k = \frac{D}{l}$ między 0 a 30:

$$L = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot n^2 \cdot 10^{-6}}{l\left(1 + 0{,}45\frac{D}{l} - 0{,}003\frac{D^2}{l^2}\right)}$$

UZWOJENIA CEWEK

$$\frac{n_1}{n_2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}\,; \qquad \frac{n_1}{\sqrt{L_1}} = \frac{n_2}{\sqrt{L_2}} = k$$

$$n_1 = n_2 \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}\,; \qquad n_2 = n_1 \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}$$

$$L_1 = L_2 \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 = L_2 \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2 ; \qquad L_2 = L_1 \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 = L_1 \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2$$

L_1 – indukcyjność pierwotna [H]
L_2 – indukcyjność żądana [H]
n_1 – pierwotna liczba zwojów
n_2 – żądana liczba zwojów
k – stała, zależna od kształtu cewki
f_1 – częstotliwość pierwotna [Hz]
f_2 – częstotliwość żądana [Hz]

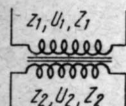
DOBROĆ CEWEK

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{\omega \cdot L}{R}; \qquad R = \frac{\omega \cdot L}{Q}; \qquad X_L = Q \cdot R$$

Q – dobroć cewki
R – oporność strat [Ω]
X_L – oporność bierna indukcyjna [Ω]

TRANSFORMATORY (BEZ STRAT)

Założenie $P_1 = P_2 = P$



Rys. 16

$$n = \frac{z_1}{z_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}}$$

$$z_1 = n \cdot z_2 = z_2 \cdot \frac{U_1}{U_2} = z_2 \cdot \frac{I_2}{I_1} = z_2 \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}}$$

$$z_2 = \frac{z_1}{n} = z_1 \frac{U_2}{U_1} = z_1 \frac{I_1}{I_2} = z_1 \sqrt{\frac{Z_2}{Z_1}}$$

$$U_1 = U_2 \cdot n = \frac{P}{I_1} = \sqrt{P \cdot Z_1}$$

$$U_2 = \frac{U_1}{n} = \frac{P}{I_2} = \sqrt{P \cdot Z_2}$$

$$I_1 = \frac{I_2}{n} = I_2 \frac{z_2}{z_1} = \frac{P}{U_1} = \sqrt{\frac{P}{Z_1}}$$

$$I_2 = I_1 \cdot n = I_1 \frac{z_1}{z_2} = \frac{P}{U_2} = \sqrt{\frac{P}{Z_2}}$$

$$Z_1 = Z_2 \cdot n^2 = \frac{U_1^2}{P}; \qquad Z_2 = \frac{Z_1}{n^2} = \frac{U_2^2}{P}$$

$$P = U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$$

n — przekładnia
z_1 — liczba zwojów uzwojenia pierwotnego
z_2 — liczba zwojów uzwojenia wtórnego
Z_1 — oporność (indukcyjna) uzwojenia pierwotnego [Ω]
Z_2 — oporność (indukcyjna) uzwojenia wtórnego [Ω]
U_1 — napięcie pierwotne [V]
U_2 — napięcie wtórne [V]
P_1 — moc pierwotna [W]
P_2 — moc wtórna [W]

P r z y k ł a d: transformator międzylampowy ma przekładnię $n = 1 : 3$. Jakie napięcie otrzymamy w uzwojeniu wtórnym (wyjściu) jeżeli do uzwojenia pierwotnego (wejścia) doprowadzimy napięcie $U_1 = 15$ V?

$$U_2 = \frac{U_1}{n} = \frac{15}{\frac{1}{3}} = 45 \text{ V}$$

DOPASOWANIE

D o p a s o w a n i e n a p i ę c i o w e

$R_a \gg \varrho_a$; przypadek graniczny: $R_a = \infty$
(wyjście rozwarte, bieg jałowy: $U = U_{max}$)

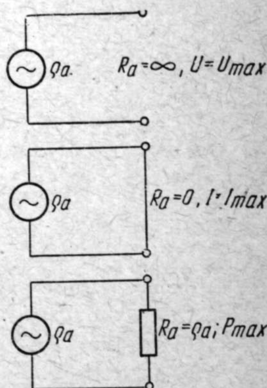
D o p a s o w a n i e p r ą d o w e

$R_a \ll \varrho_a$; przypadek graniczny: $R_a = 0$
(wyjście zwarte: $I = I_{max}$)

D o p a s o w a n i e m o c y

$R_a = \varrho_a$
($P = P_{max}$)

$$P = \frac{U^2 \cdot R_a}{(\varrho_a + R_a)^2}; \qquad P_{max} = \frac{U^2}{4 \cdot \varrho_a}$$



Rys. 17

ϱ_a — oporność wewnętrzna generatora [Ω]
R_a — oporność zewnętrzna (obciążenie) [Ω]
P — moc oddawana [W]
U — napięcie na zaciskach [V]

Dopasowanie za pomocą odczepu cewki

$$\frac{L_1}{L_2} = \sqrt{\frac{R_1}{R_2}}$$

POJEMNOŚĆ W OBWODZIE PRĄDU ZMIENNEGO

Jeżeli kondensator o pojemności C dołączymy do źródła prądu, o napięciu U, to na okładzinach kondensatora zaczną się gromadzić ładunki (kondensator będzie się ładować).

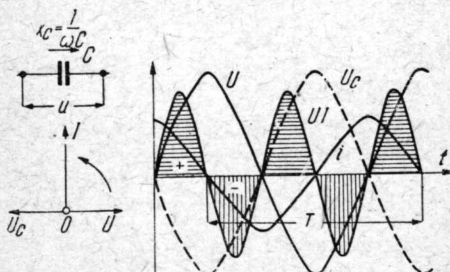
Ilość elektryczności gromadzonej w kondensatorze

$$Q = C \cdot U$$

W obwodzie prądu zmiennego natężenie prądu płynącego przez kondensator wyniesie:

$$i = C \cdot U_{max} \cdot \omega \cdot \sin(\omega t + 90°)$$

Tak więc w obwodzie prądu zmiennego z kondensatorem prąd wyprzedza napięcie o 90° (rys. 18).



Rys. 18

Maksymalna wartość prądu w obwodzie:

$$I_{max} = C \cdot U_{max} \cdot \omega$$

lub

$$I_{max} = \frac{U_{max}}{\frac{1}{\omega \cdot C}} = \frac{U_{max}}{X_C}$$

gdzie $\frac{1}{\omega \cdot C} = X_C$ — oporność bierna pojemnościowa.

Moc tracona w takim obwodzie wynosi zero.
Na rys. 21 podane kondensatory o różnym kształcie.

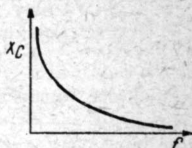
OPORNOŚĆ POJEMNOŚCIOWA

Oporność, jaką dla prądu zmiennego przedstawia pojemność

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}; \quad f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C \cdot X_C}$$

$$C = \frac{1}{\omega \cdot X_C}; \quad \omega = \frac{1}{X_C \cdot C}$$



Rys. 19

Dla C podawanego w μF, częstotliwość w Hz i oporności w Ω

$$X_C = \frac{10^6}{\omega \cdot C}; \quad C = \frac{10^6}{\omega \cdot X_C}; \quad f = \frac{10^6}{2 \cdot \pi \cdot C \cdot X_C}$$

$$X_C = \frac{159\,000}{f \cdot C}; \quad X_C = \frac{159}{f \cdot C}; \quad [\text{kHz}, \Omega, \mu\text{F}]$$

Dla C podawanego w nF i częstotliwości podawanej w kHz

$$X_C = \frac{10^9}{\omega \cdot C}; \quad C = \frac{10^9}{\omega \cdot X_C}; \quad f = \frac{10^9}{2 \cdot \pi \cdot C \cdot X_C}$$

$$X_C = \frac{159}{f \cdot C}; \quad [\text{k}\Omega, \text{kHz}, \text{nF}]$$

Dla C podawanego w pF; częstotliwości w kHz i X_C w kΩ

$$X_C = \frac{10^{12}}{\omega \cdot C}; \quad C = \frac{10^{12}}{\omega \cdot X_C}; \quad f = \frac{10^{12}}{2 \cdot \pi \cdot C \cdot X_C}$$

$$X_C = \frac{159\,000}{f \cdot C}; \quad [\text{k}\Omega, \text{kHz}, \text{pF}]$$

Prąd pojemnościowy

$$I_C = \frac{U}{X_C} = U \cdot \omega \cdot C; \quad X_C = \frac{U}{I_C}; \quad \omega \cdot C = \frac{I_C}{U} \text{ dla } \varphi = 90^\circ$$

$$U = I_C \cdot \frac{1}{\omega \cdot C}; \qquad C = \frac{I_C}{\omega \cdot U}$$

X_C — oporność bierna pojemnościowa
C — pojemność
f — częstotliwość
ω — częstotliwość kątowa
φ — kąt fazowy
I_C — prąd pojemnościowy

Tablica 8

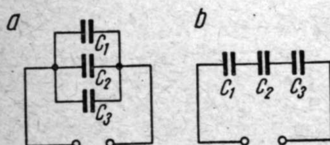
Niektóre wartości oporności X_L i X_C dla różnych częstotliwości

Dla wartości	Oporność bierna X_C						
	Hz			kHz			MHz
	50	100	1000	10	110	465	1
L = 1 H	315Ω	630Ω	6,3kΩ	63kΩ	690kΩ	3 MΩ	6,3MΩ
L = 1 mH	0,32Ω	0.63Ω	6,3Ω	63Ω	690Ω	3kΩ	6,3kΩ
L = 1 μH	0,03Ω	0,06Ω	0,6Ω	6Ω	69Ω	300Ω	630Ω
C = 1 μF	3,2kΩ	1,6kΩ	160Ω	16Ω	1,45Ω	0.34Ω	0,16Ω
C = 1000 pF	3,2MΩ	1,6MΩ	160kΩ	16kΩ	1,45kΩ	340Ω	160Ω
C = 100 pF	32MΩ	16MΩ	1,6MΩ	160kΩ	14,5kΩ	3,4kΩ	1,6kΩ

Przykład: jaką oporność X_C przedstawia dla prądu 50 Hz pojemność $C = 10\ \mu F$.

$$X_C = \frac{1}{6,28 \cdot 50 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = 320\ \Omega$$

ŁĄCZENIE POJEMNOŚCI



Rys. 20

Połączenie równoległe (rys. 20*a*)

$$C_w = C_1 + C_2 + C_3 + \dots C_n$$

Połączenie szeregowe (rys. 20*b*)

$$\frac{1}{C_w} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots \frac{1}{C_n}$$

Przy dwóch kondensatorach połączonych szeregowo:

$$C_w = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}; \qquad C_1 = \frac{C_2 \cdot C_w}{C_2 - C_w}; \qquad C_2 = \frac{C_1 \cdot C_w}{C_1 - C_w}$$

Przy trzech kondensatorach połączonych szeregowo:

$$C_w = \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot C_3}{C_1 \cdot C_2 + C_1 \cdot C_3 + C_2 \cdot C_3}$$

Przy *n* równych kondensatorach połączonych szeregowo (rys. 20*b*)

$$C_w = \frac{C_1}{n}$$

C_w — pojemność wypadkowa
$C_1, C_2, C_3, ..., C_n$ — pojemnośći składowe

Pojemność dwóch płytek (rys. 21 a):

$$C = \frac{S \cdot \varepsilon}{0{,}9 \cdot 4 \cdot \pi \cdot a}$$

$$C = 0{,}0884 \cdot \frac{S \cdot \varepsilon}{a}$$

$$S = \frac{C \cdot 0{,}9 \cdot 4 \cdot \pi \cdot a}{\varepsilon} = \frac{C \cdot a}{0{,}0884 \cdot \varepsilon}$$

Przy *n* płytkach (rys. 21 b):

$$C = 0{,}0884 \frac{S \cdot \varepsilon}{a} (n - 1) \text{ pF}$$

Przy płytkach kołowych o średnicy *d* cm

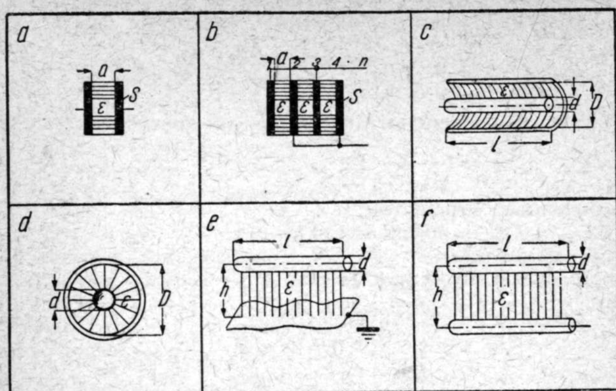
$$C = 0{,}069 \frac{d^2}{a} \cdot \varepsilon$$

Pojemność przewodu (anteny) równolegle nad powierzchnią ziemi (rys. 21 e):

$$C = \frac{0{,}241 \cdot l}{\lg \left[\frac{2 \cdot h}{d} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{1}{\left(\frac{2 \cdot h}{d}\right)^2}} \right) \right]}$$

jeżeli $h > d$

$$C = 0{,}556 \frac{l}{\ln \frac{4 \cdot h}{d}}$$



Rys. 21

Pojemności dwóch przewodów równoległych (rys. 21 f):

$$C = \frac{0{,}12 \cdot l \cdot \varepsilon}{\lg \frac{a}{d}\left[1 + \sqrt{1 - \frac{1}{\left(\frac{a}{d}\right)^2}}\right]}$$

Pojemność przewodu współosiowego $l > D > d$ (rys. 21 c, d):

$$C = \frac{0{,}241 \cdot l \cdot \varepsilon}{\lg \frac{D}{d}}$$

C — pojemność [pF]
S — powierzchnia czynna jednej płytki [cm²]
a — odległość między płytkami lub między przewodami [cm]
n — liczba płytek
ε — przenikalność dielektryczna
l — długość przewodu [cm]
d — średnica przewodu lub średnica zewnętrzna przewodu wewnętrznego [cm]
h — wysokość nad powierzchnią ziemi [cm]
D — średnica wewnętrzna przewodu zewnętrznego [cm]

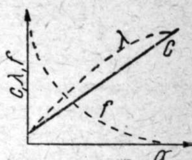
Kondensator o pojemności proporcjonalnej do kąta obrotu α (rys. 22).

$$C = C_p + (C_k - C_p) \cdot \frac{\alpha}{180^\circ}$$

$$\frac{C}{C_k} = \frac{C_p}{C_k} + \left(1 - \frac{C_p}{C_k}\right) \cdot \frac{\alpha}{180^\circ}$$

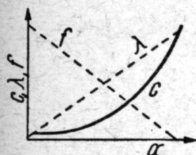
$$\frac{f}{f_k} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{f_k}{f_p}\right)^2 + \left[1 - \left(\frac{f_k}{f_p}\right)^2\right] \frac{\alpha}{180^\circ}}}$$

$$\frac{\lambda}{\lambda_k} = \left(\frac{\lambda_p}{\lambda_k}\right)^2 + \left[1 - \left(\frac{\lambda_p}{\lambda_k}\right)^2\right] \frac{\alpha}{180^\circ}$$



Rys. 22

Kondensator o częstotliwości proporcjonalnej do kąta obrotu α (rys. 23)



Rys. 23

$$f = f_p - (f_p - f_k) \frac{\alpha}{180^\circ}$$

$$\frac{C}{C_k} = \frac{1}{\left[\sqrt{\frac{C_k}{C_p}} - \left(\sqrt{\frac{C_k}{C_p}} - 1\right) \frac{\alpha}{180^\circ}\right]^2}$$

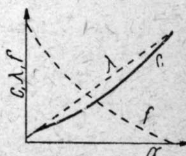
$$\frac{f}{f_k} = \frac{f_p}{f_k} - \left(\frac{f_p}{f_k} - 1\right) \frac{\alpha}{180^\circ}$$

$$\frac{\lambda}{\lambda_k} = \frac{1}{\frac{\lambda_k}{\lambda_p} - \left(\frac{\lambda_k}{\lambda_p} - 1\right) \frac{\alpha}{180^\circ}}$$

Kondensator o długości fali proporcjonalnej do kąta obrotu α (rys. 24)

$$\lambda = \lambda_p - (\lambda_k - \lambda_p) \frac{\alpha}{180^\circ}$$

$$\frac{C}{C_k} = \left[\sqrt{\frac{C_p}{C_k}} + \left(1 - \sqrt{\frac{C_p}{C_k}}\right) \frac{\alpha}{180^\circ}\right]^2$$



Rys. 24

$$\frac{f}{f_k} = \frac{1}{\frac{f_k}{f_p} + \left(1 - \frac{f_k}{f_p}\right)\frac{\alpha}{180^\circ}}$$

$$\frac{\lambda}{\lambda_k} = \frac{\lambda_p}{\lambda_k} + \left(1 - \frac{\lambda_p}{\lambda_k}\right)\frac{\alpha}{180^\circ}$$

C — pojemność kondensatora
C_p — pojemność początkowa kondensatora
C_k — pojemność końcowa kondensatora
f_p, λ_p — częstotliwość i długość fali odpowiadająca pojemności początkowej kondensatora
f_k, λ_k — częstotliwość i długość fali odpowiadająca pojemności końcowej kondensatora
α — kąt ustawienia płytek kondensatora
f, λ — częstotliwość i długość fali odpowiadająca wybranej pojemności kondensatora

PRĄD UPŁYWNOŚCI KONDENSATORA ELEKTROLITYCZNEGO

$$I_u = 0,5\, C \cdot U$$

I_u — prąd upływności [μA]
C — pojemność znamionowa [μF]
U — napięcie znamionowe [V]

IZOLACJA KONDENSATORA SPRZĘGAJĄCEGO

Oporność izolacji kondensatora sprzęgającego R_{iz} tworzy łącznie z opornością siatkową lampy następnego stopnia R_s dzielnik napięcia anodowego U_a. Wartość napięcia dodatniego z tego dzielnika doprowadzanego do siatki wynosi

$$U_s = \frac{U_a \cdot R_s}{R_{iz} + R_s}$$

Przykład: obliczyć wartość napięcia dodatniego na siatce U_s, jeżeli napięcie anodowe lampy poprzedniego stopnia wynosi $U_a = 110$ V, oporność siatkowa lampy następnego stopnia $R_s = 0,8$ MΩ, a oporność izolacji kondensatora sprzęgającego $R_{iz} = 60$ MΩ.

$$U_s = \frac{110 \cdot 0,8}{60 + 0,8} = \frac{88}{60,8} = 1,45 \text{ V}$$

OPORNOŚĆ BIERNA, PRĄD BIERNY, MOC BIERNA

Oporność bierna indukcyjna X_L i oporność bierna pojemnościowa nie są właściwie opornościami, gdyż nie następuje w nich zamiana energii elektrycznej w cieplną, tak jak to się dzieje w oporności czynnej R. Jednakże ograniczają one wartość prądu w obwodzie i z tego względu ich wpływ jest analogiczny do wpływu oporności czynnej.

Przez analogię do liczb urojonych w matematyce oporności bierne zapisywane są podobnie jak te liczby, to znaczy że do wartości oporności biernej przyporządkowany jest symbol „j", będący symbolem liczby urojonej $\sqrt{-1}$.

Przez analogię do liczb zespolonych oporności są przedstawiane na płaszczyźnie tak jak one, to znaczy że oporności czynne są zaznaczane na osi poziomej (liczby rzeczywiste), a oporności bierne na osi pionowej (liczby urojone). Oporności mające zarówno składową czynną, jak i bierną przedstawione są na płaszczyźnie w postaci wektorów, tzn. odcinków charakteryzujących się długością i zwrotem. Oporności bierne indukcyjne są odkładane na osi urojonej w kierunku dodatnim, a oporności bierne pojemnościowe na osi urojonej w kierunku ujemnym.

$$j = \sqrt{-1} \qquad j^3 = -j$$

$$j^2 = -1 \qquad j^4 = +1$$

Oporności czynne i bierne dodawane są do siebie geometrycznie

$$\hat{Z} = R + jX \qquad Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$Z^2 = R^2 + X^2; \qquad R = \sqrt{Z^2 - X^2}$$

$$R^2 = Z^2 - X^2; \qquad X = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

$$X^2 = Z^2 - R^2; \qquad \cos\varphi = \frac{R}{Z}$$

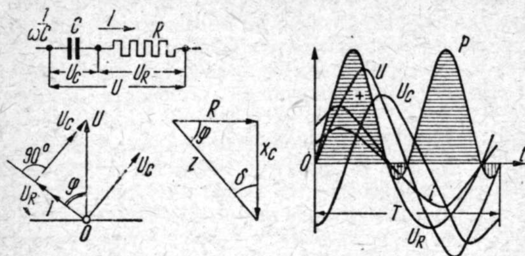
Z — oporność pozorna (impedancja)
R — oporność czynna (rezystancja)
X — oporność bierna (reaktancja)
φ — kąt fazowy
$\cos\varphi$ — współczynnik mocy

SZEREGOWE POŁĄCZENIE R i C

W obwodzie złożonym z szeregowo połączonej pojemności C i oporności R, całkowity spadek napięcia w każdej chwili składa się ze składowej czynnej U_R i biernej U_C.

Składowa U_R jest spadkiem napięcia na oporności czynnej R i jest w fazie z prądem. Składowa U_C opóźnia się w stosunku do prądu o kąt 90°.

Wypadkowy spadek napięcia równa się geometrycznej sumie spadków napięć na poszczególnych odcinkach (rys. 25).



Rys. 25

$$Z^2 = R^2 + X_C^2$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}$$

$$R^2 = Z^2 - X_C^2; \qquad R = \sqrt{Z^2 - X_C^2}$$

$$X_C^2 = Z^2 - R^2; \qquad X_C = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}}$$

$$U = I \cdot Z; \qquad U_R = I \cdot R; \qquad U_C = I \cdot X_C$$

$$Z = \frac{U}{I}; \qquad \cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{U_R}{U} = \frac{P}{P_Z}$$

$$Z = \frac{R}{\cos\varphi}; \qquad R = Z \cdot \cos\varphi; \qquad \operatorname{tg}\varphi = -\frac{1}{\omega \cdot C \cdot R}$$

$$X_C = Z \cdot \sin\varphi; \qquad \operatorname{tg}\delta = \omega \cdot C \cdot R$$

$$P_Z = U \cdot I = \frac{P}{\cos\varphi}$$

$$P = P_Z \cdot \cos\varphi = U \cdot I \cdot \cos\varphi = U_R \cdot I = I^2 \cdot R$$

$$P_C = U \cdot I \cdot \sin\varphi$$

$$I = \frac{U \cdot \cos\varphi}{R}; \quad U = \frac{I \cdot R}{\cos\varphi}; \quad R = \frac{U \cdot \cos\varphi}{I}$$

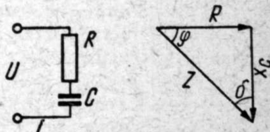
$$U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2}$$

Z — oporność pozorna (impedancja) [Ω]
R — oporność czynna (rezystancja) [Ω]
X_C — oporność bierna pojemnościowa [Ω]
U_R — napięcie na R [V]
U_C — napięcie na C [V]
P — moc czynna [W]
U — napięcie doprowadzone [V]
P_C — moc bierna pojemnościowa [W]
P_Z — moc pozorna [W]
φ — kąt fazowy [°]
$\cos\varphi$ — współczynnik mocy
δ — kąt strat [°]
$\operatorname{tg}\delta$ — współczynnik stratności
I — prąd [A]

Przykład

Dane: (rys. 26) $R = 10\,000$ Ω; $C = 10\,000$ pF. Znaleźć największą wartość prądu, jeżeli napięcie może osiągnąć wartość 200 V, a częstotliwość prądów znajduje się w granicach 100 ... 4000 Hz.

Obliczenie: Obliczenie przeprowadza się dla $f = 4000$ Hz, gdyż dla tej częstotliwości oporność X_C jest najmniejsza.



Rys. 26

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}\right)^2}}$$

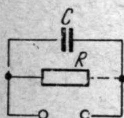
$$I = \frac{200}{\sqrt{10\,000^2 + \left(\frac{1}{6{,}28 \cdot 4000 \cdot 10^{-8}}\right)^2}} = 0{,}019 \text{ A} = 19 \text{ mA}$$

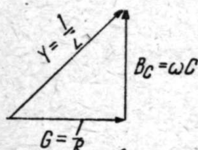
RÓWNOLEGŁE POŁĄCZENIE R i C

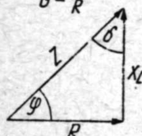
$$I = \frac{U}{Z} = U \cdot Y; \qquad Y^2 = G^2 + B_C^2$$

$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_C^2}; \qquad \frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + (\omega \cdot C)^2}$$

$$I_C = U \cdot \omega \cdot C; \qquad I_R = \frac{U}{R}; \qquad I = \sqrt{I_C^2 + I_R^2}$$







Rys. 27

$$I = U \sqrt{\frac{1}{R^2} + (\omega \cdot C)^2};$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\omega \cdot C \cdot R}$$

$$Z = \sqrt{\frac{R^2}{1 + \omega^2 \cdot C^2 \cdot R^2}};$$

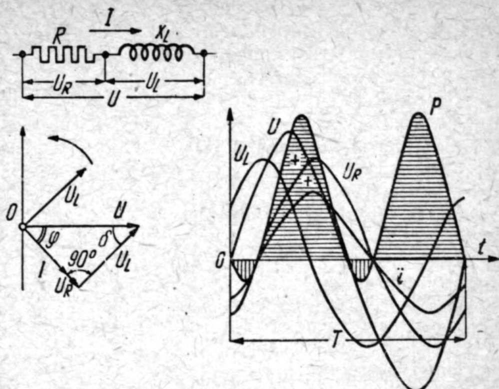
$$\operatorname{tg} \varphi = -\omega \cdot C \cdot R$$

G — przewodność czynna (konduktancja) [S]
Y — przewodność pozorna (admitancja) [S]
B_C — przewodność bierna pojemnościowa (susceptancja) [S]
I_C — prąd bierny przez C [A]
I_R — prąd czynny przez R [A]
I — prąd pozorny [A]
tg δ — współczynnik stratności
φ — kąt fazowy

SZEREGOWE POŁĄCZENIE R i L

Podczas przepływu prądu zmiennego sinusoidalnego przez obwód szeregowy złożony z indukcyjności L i oporności R napięcie w każdej chwili składa się z dwóch składowych: czynnej U_R i biernej U_L.

Składowa U_R jest zgodna w fazie z prądem, a składowa U_L wyprzedza prąd o 90° (rys. 28).



Rys. 28

$$Z^2 = R^2 + X_L^2; \qquad Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$$

$$R^2 = Z^2 - X_L^2; \qquad R = \sqrt{Z^2 - X_L^2};$$

$$X_L^2 = Z^2 - R^2; \qquad X_L = \sqrt{Z^2 - R^2};$$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega \cdot L)^2}}$$

$$U = I \cdot Z; \qquad U_R = I \cdot R; \qquad U_L = I \cdot X_L$$

$$Z = \frac{U}{I} \cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{U_R}{U} = \frac{P}{P_Z}$$

$$Z = \frac{R}{\cos\varphi}; \qquad R = Z\cos\varphi; \qquad X_L = Z \cdot \sin\varphi$$

$$P_Z = U \cdot I = \frac{P}{\cos\varphi}; \qquad \mathrm{tg}\,\delta = \frac{R}{\omega \cdot L}$$

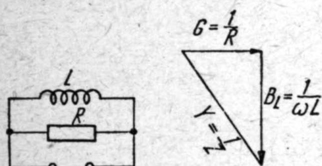
$$P_L = U \cdot I \cdot \sin\varphi; \qquad \mathrm{tg}\,\varphi = \frac{\omega \cdot L}{R}$$

$$P = P_Z \cdot \cos\varphi = U \cdot I \cdot \cos\varphi = U_R \cdot I = I^2 \cdot R$$

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}$$

Z — opornɔść pozorna (impendacja) [Ω]
R — opɔrność czynna (rezystancja) [Ω]
U — napięcie doprowadzone [V]
U_R — napięcie na R [V]
U_L — napięcie na L [V]
X_L — oporność bierna indukcyjna [Ω]
P — moc czynna [W]
P_Z — moc pozorna [W]
P_L — moc bierna indukcyjna [W]
φ — kąt fazowy
δ — kąt strat
$\cos\varphi$ — współczynnik mocy
$\operatorname{tg}\delta$ — współczynnik stratności
I — prąd [A]

RÓWNOLEGŁE POŁĄCZENIE R i L (rys. 29)



Rys. 29

$$I = \frac{U}{Z} = Y \cdot U; \qquad Y^2 = G^2 + B_L^2$$

$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_L^2};$$

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{\omega \cdot L}\right)^2}$$

$$I = U \cdot \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{\omega \cdot L}\right)^2}; \qquad \operatorname{tg}\delta = \frac{\omega \cdot L}{R}$$

$$I_L = \frac{U}{\omega \cdot L}; \qquad I_R = \frac{U}{R}; \qquad I = \sqrt{I_L^2 + I_R^2}$$

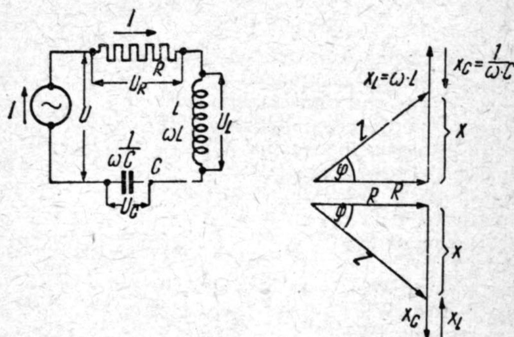
$$Z = \sqrt{\frac{R^2 \cdot \omega^2 \cdot L^2}{R^2 + \omega^2 \cdot L^2}}; \qquad \operatorname{tg}\varphi = \frac{R}{\omega \cdot L}$$

Y — przewodność pozorna (admitancja) [S]
G — przewodność czynna (konduktancja) [S]
B_L — przewodność bierna indukcyjna [S]
I_L — prąd bierny indukcyjny (przez L) [A]
I_R — prąd czynny (przez R) [A]
I — prąd pozorny [A]

SZEREGOWE POŁĄCZENIE R, L i C

Napięcie doprowadzone do takiego obwodu składa się z trzech składowych U_R, U_L i U_C.

Układ oraz wykres wektorowy podany jest na rysunku 30. Wektor prądu w stosunku do wektora napięcia może: 1) opóźniać się, gdy $X_L > X_C$; 2) wyprzedzać, gdy $X_L < X_C$; 3) mieć fazę zgodną, gdy $X_L = X_C$.



Rys. 30

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}$$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}}$$

$$U = I \cdot Z; \quad U_R = I \cdot R; \quad U_C = I \cdot X_C; \quad U_L = I \cdot X_L$$

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$$

$$Z = \frac{U}{I}; \quad \cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{U_R}{U} = \frac{P}{P_Z}; \quad \operatorname{tg}\varphi = \frac{\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}}{R}$$

$$Z = \frac{R}{\cos\varphi}; \quad R = Z \cdot \cos\varphi; \quad \operatorname{tg}\delta = \frac{R}{\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}}$$

$$P_Z = \frac{P}{\cos\varphi} = U \cdot I; \quad P = P_Z \cdot \cos\varphi = U \cdot I \cos\varphi = U_R \cdot I$$

$$P_X = U \cdot I \cdot \sin\varphi; \quad I = \frac{U \cdot \cos\varphi}{R}; \quad U = \frac{I \cdot R}{\cos\varphi}$$

$$R = \frac{U \cdot \cos\varphi}{I}$$

R — oporność czynna (rezystancja) [Ω]
X — oporność bierna (reaktancja) [Ω]
Z — oporność pozorna (impedancja) [Ω]
X_C — oporność bierna pojemnościowa [Ω]
X_L — oporność bierna indukcyjna [Ω]
U — napięcie doprowadzone [V]
U_C — napięcie na C [V]
U_L — napięcie na L [V]
U_R — napięcie na R [V]
I — prąd [A]
P — moc czynna [W]
P_X — moc bierna [W]
P_Z — moc pozorna [W]
φ — kąt fazowy
δ — kąt strat
$\cos\varphi$ — współczynnik mocy
$\operatorname{tg}\delta$ — współczynnik stratności

Przykład

Dane: generator na rys. 30 ma $R_w = 30\ \Omega$, pojemność $C = 10\ \mu F$, indukcyjność $L = 0{,}6$ H, a oporność $R_L = 60\ \Omega$. Obliczyć całkowitą oporność obwodu dla częstotliwości prądu $f = 50$ Hz.

Obliczenie:

$$X_L = 6{,}28 \cdot 50 \cdot 0{,}6 \approx 190\ \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{6{,}28 \cdot 50 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = 320\ \Omega$$

$$R = R_w + R_L = 30 + 60 = 90\ \Omega$$

$$Z = \sqrt{90^2 + (190 - 320)^2} = 158\ \Omega$$

RÓWNOLEGŁE POŁĄCZENIE R, L i C (rys. 31)

$$I = \frac{U}{Z} = U \cdot Y;$$

$$Y = \sqrt{G^2 + B^2}$$

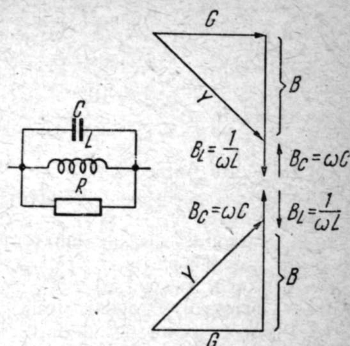
$$Y^2 = G^2 + B^2;$$

$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{X^2}$$

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega \cdot C - \frac{1}{\omega \cdot L}\right)^2}$$

lub

$$Y = \sqrt{G^2 + (B_C - B_L)^2}$$



Rys. 31

$$I = U \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega \cdot C - \frac{1}{\omega \cdot L}\right)^2} = U \sqrt{G^2 + (B_C - B_L)^2}$$

$$Z = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{R^2} + \left(\omega \cdot C - \frac{1}{\omega \cdot L}\right)^2}}; \quad \operatorname{tg} \delta = \frac{1}{R\left(\omega \cdot C - \frac{1}{\omega \cdot L}\right)}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = R\left(\omega \cdot C - \frac{1}{\omega \cdot L}\right)$$

G — przewodność czynna [S]
B — przewodność bierna [S]
Y — przewodność pozorna [S]

STRATY W PRZEWODACH PRZY PRĄDZIE ZMIENNYM

jednofazowym

$$\Delta U = \frac{2 \cdot l \cdot I}{\gamma \cdot S} \cos\varphi;$$

$$\Delta U\% = \frac{2 \cdot l \cdot I \cdot 100}{\gamma \cdot S \cdot U} \cos\varphi;$$

trójfazowym

$$\Delta U = 1{,}73 \cdot \frac{l \cdot I}{\gamma \cdot S} \cos\varphi$$

$$\Delta U\% = 1{,}73 \frac{l \cdot I \cdot 100}{\gamma \cdot S \cdot U} \cos\varphi$$

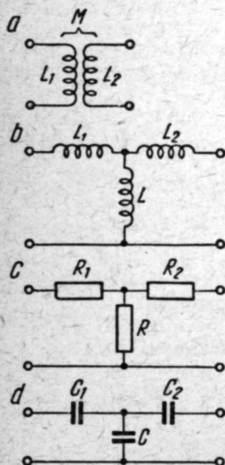
$$S = \frac{2 \cdot l \cdot I}{\gamma \cdot \Delta U} \cos\varphi; \qquad S = 1{,}73 \frac{l \cdot I}{\gamma \cdot \Delta U} \cos\varphi$$

$$\Delta P = \frac{2 \cdot l \cdot P^2}{\gamma \cdot S \cdot U^2 \cdot \cos^2\varphi}; \qquad \Delta P = \frac{l \cdot P^2}{\gamma \cdot S \cdot U^2 \cdot \cos^2\varphi}$$

$$\Delta P\% = \frac{2 \cdot l \cdot P \cdot 100}{\gamma \cdot S \cdot U^2 \cdot \cos^2\varphi}; \qquad \Delta P\% = \frac{l \cdot P \cdot 100}{\gamma \cdot S \cdot U^2 \cdot \cos^2\varphi}$$

ΔU — strata napięcia [V]
U — napięcie doprowadzone [V]
I — prąd [A]
l — odległość między punktem zasilania a punktem odbiorczym [m]
P — moc [W]
ΔP — strata mocy [W]
S — przekrój przewodu [mm²]
$\Delta U\%$ — procentowa strata napięcia [V]
$\Delta P\%$ — procentowa strata mocy [W]
γ — przewodność właściwa [Ω mm²/m]

SPRZĘŻENIE



Rys. 32

a) $k = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}}$

b) $k = \frac{L}{\sqrt{(L_1 - L) \cdot (L_2 - L)}}$

c) $k = \frac{R}{\sqrt{(R^2 + R) \cdot (R_1 + R)}}$

d) $k = \frac{\sqrt{C_1 \cdot C_2}}{\sqrt{(C_1 + C) \cdot (C_2 + C)}}$

Przy sprzężeniu indukcyjnym (rys. 32*a*) pole magnetyczne jednej cewki wpływa na drugą. Sprzężenie indukcyjne jest szeroko stosowane dla transformacji napięcia prądu zmiennego dla dopasowania oporności oraz dla powiązania ze sobą różnych obwodów.

Jeżeli cały strumień magnetyczny wytwarzany przez jedną cewkę przecina zwoje cewki sprzężonej, to $k = 1$.

Indukcyjność rozproszenia $L_r = (1 - k^2) L_1$.

Przy praktycznym określaniu współczynnika sprzężenia mierzy się wspólną indukcyjność obu cewek połączonych raz zgodnie L' a raz przeciwnie L'', wówczas

$$L' = L_1 + L_2 + 2M$$
$$L'' = L_1 + L_2 - 2M$$

skąd

$$M = \frac{L' - L''}{4}$$

Przykład: zmierzono w transformatorze wyjściowym $L_1 = 25$ H i $L_2 = 10$ mH, $L' = 25{,}99$ H i $L'' = 24{,}03$ H

Obliczyć M, k i L_r.

$$M = \frac{25{,}99 - 24{,}03}{4} = 0{,}49 \text{ H}$$

$$k = \frac{0{,}49}{\sqrt{25 \cdot 0{,}01}} = 0{,}98$$

$$L_r = (1 - 0{,}98^2)\, 25 = 1 \text{ H}$$

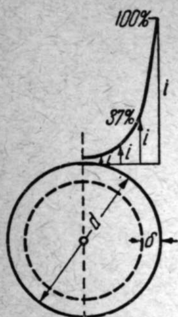
L — indukcyjność cewki [H]
k — współczynnik sprzężenia
M — indukcyjność wzajemna [H]

ZJAWISKO NASKÓRKOWOŚCI

Podczas przepływu prądu zmiennego przez przewodnik, gęstość prądu nie jest jednakowa na całej powierzchni przekroju przewodnika. Obserwuje się zjawisko wypierania prądu w kierunku do powierzchni przewodnika, tak że gęstość prądu jest tym większa, im bliżej powierzchni. Ponieważ do przepływu prądu w ten sposób nie jest wykorzystany cały przekrój, w wyniku wzrasta oporność przewodu dla prądu zmiennego w stosunku do oporności tego samego przewodu dla prądu stałego. Różnica oporności dla prądu zmiennego i dla prądu stałego jest tym większa, im większa jest częstotliwość prądu zmiennego.

Gęstość prądu zmienia się wykładniczo w kierunku do środka przewodu. Za głębokość wnikania prądu zmiennego do przewodnika (rys. 33) przyjmuje się wartość δ odpowiadającą 37% (1/e) wartości prądu całkowitego płynącego przez przekrój. Jeżeli d jest duże w stosunku do głębokości wnikania, to

$$\delta = 2{,}9 \sqrt{\frac{\varrho \cdot \lambda}{\mu}}$$



Rys. 33

dla miedzi $\delta = \frac{6.6}{\sqrt{f}}$

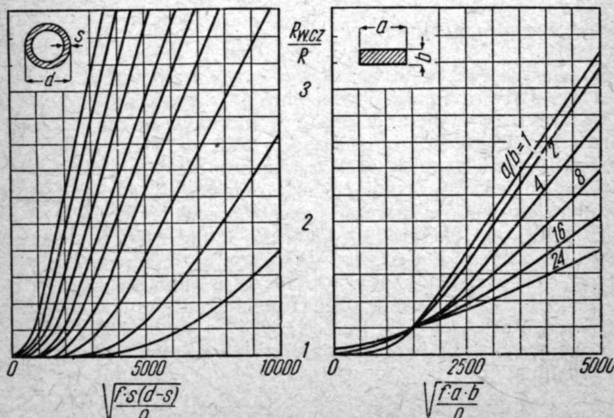
dla srebra $\delta = \frac{6.42}{\sqrt{f}}$

dla aluminium $\delta = \frac{8.26}{\sqrt{f}}$

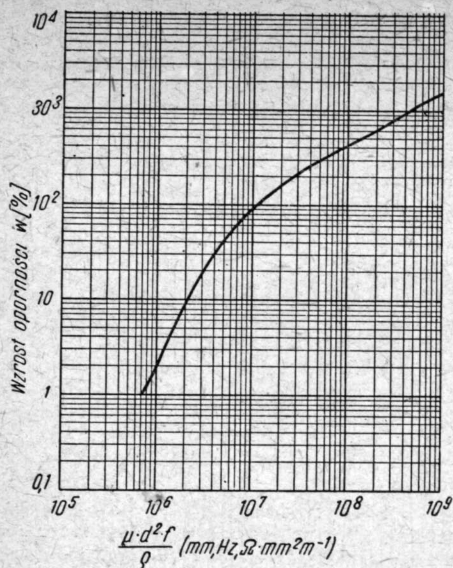
dla mosiądzu $\delta = \frac{12.7}{\sqrt{f}}$

δ — głębokość wnikania [μ]
λ — długość fali [cm]
f — częstotliwość [Hz]
μ — przenikalność magnetyczna względna
ϱ — oporność właściwa $\left[\frac{\Omega\ mm^2}{m}\right]$

Na rys. 34—36 przedstawiono procentowy wzrost oporności dla prądu zmiennego w zależności od przenikalności magnetycznej względnej μ, oporności właściwej ϱ, średnicy przewodu d oraz częstotliwości f

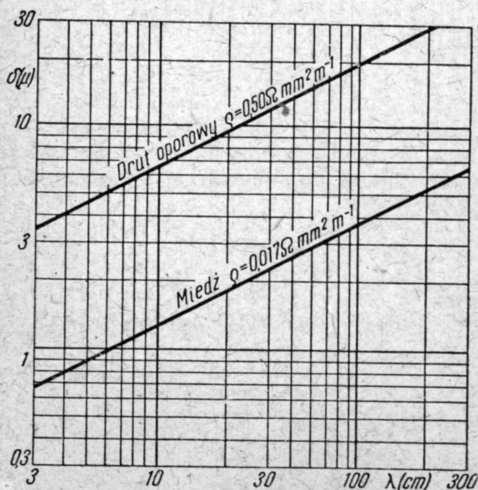


Rys. 34



Wzrost oporności w [%]
10^4
30³
10^2
10
1
0,1
10^5
10^6
10^7
10^8
10^9
$\frac{\mu \cdot d^2 \cdot f}{\varrho}$ (mm, Hz, Ω·mm²m⁻¹)

Rys. 35

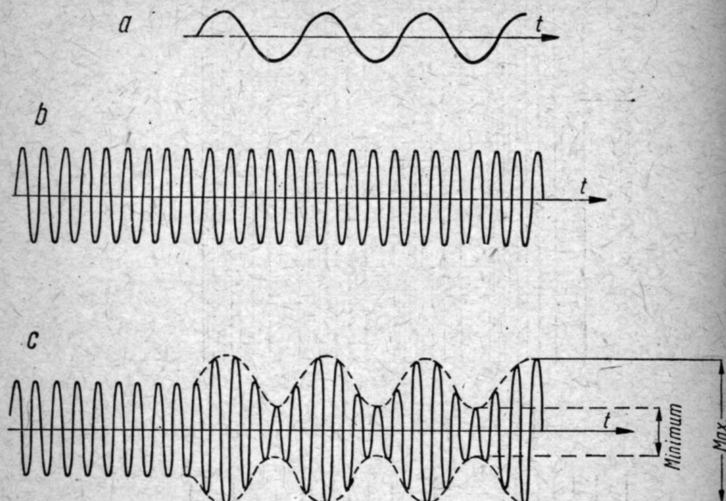


δ(μ)
30
10
3
1
0,3
Drut oporowy ϱ=0,50Ω mm²m⁻¹
Miedź ϱ=0,017Ω mm²m⁻¹
3
10
30
100
λ(cm)
300

Rys. 36

MODULACJA AMPLITUDY

Jest to proces zmian amplitudy prądów wielkiej częstotliwości w takt prądów małej częstotliwości. Prąd w.cz. nazywa się w tym przypadku prądem modulowanym, a prąd m.cz. prądem modulującym (rys. 37).



Rys. 37

Im w większych granicach zmienia się amplituda prądów w.cz., tym głębsza jest modulacja. W wyniku modulacji oprócz częstotliwości podstawowej (nośnej) pojawiają się częstotliwości wstęg bocznych. Współczynnik głębokości modulacji

$$m_A = \frac{U_{m.cz.}}{U_{w.cz.}} \cdot 100\ [\%]$$

Zmodulowany prąd w.cz.

$$u = U_{w.cz}\,(1 + m_A \cdot \cos \Omega\, t) \cos \omega \cdot t$$

Częstotliwości dolnej wstęgi bocznej

$$f_d = f - F$$

Częstotliwości górnej wstęgi bocznej

$$f_g = f + F$$

Szerokość wstęgi

$$b = 2 \cdot F$$

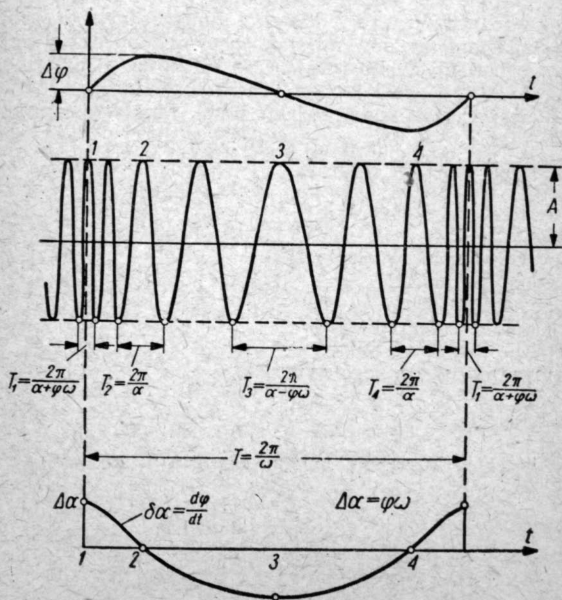
Moc fali nośnej

$$P_0 = \text{const.}\ U_0^2$$

Moc częstotliwości bocznych

$$P_b = \text{const.}\ \frac{m^2{}_A}{4}\ U_A^2$$

$U_{w.cz.}$ — napięcie wielkiej częstotliwości
$U_{m.cz.}$ — napięcie małej częstotliwości naniesione na przebieg nośny
m_A — głębokość modulacji amplitudy
u — zmodulowany sygnał w.cz.
f — częstotliwość nośna
F — częstotliwość modulująca
f_d — częstotliwość dolnej wstęgi bocznej
f_g — częstotliwość górnej wstęgi bocznej



Rys. 38

MODULACJA CZĘSTOTLIWOŚCI

Pod wpływem prądów małej częstotliwości zmienia się częstotliwość prądów wielkiej częstotliwości. Zmiany częstotliwości są tym większe, im większa jest amplituda m.cz. Częstotliwością nośną nazywa się w tym przypadku środkowa częstotliwość drgań, jakie wysyła nadajnik (częstotliwość, jaką generuje nadajnik podczas braku modulacji). Współczynnik *m* nazywa się współczynnikiem głębokości modulacji

$$m = \frac{\Delta f}{F}$$

Drgania sinusoidalne *f* zmodulowane częstotliwością *F*:

$$u = U_0 \sin\left(\omega_0 t - \frac{m}{\Omega}\cos \Omega t\right)$$

GRZANIE POJEMNOŚCIOWE

Pod wpływem pola w.cz. elementarne elektryczne cząsteczki materiału tzw. „dipole elektryczne" wykonują ruchy w takt zmian pola powodując wzrost temperatury. Materiał umieszczony w polu pomiędzy dwiema okładzinami metalowymi, stanowiącymi kondensator elektryczny nagrzewa się bardzo szybko i to w całej objętości, a nie tylko na powierzchni. Tym sposobem można nagrzewać materiały charakteryzujące się dużą wartością stałej dielektrycznej. Moc wydzielana wynosi:

$$P = \omega \cdot C \cdot U^2 \cdot \operatorname{tg} \delta$$

Oporność strat

$$R = \frac{1}{\omega \cdot C \cdot \operatorname{tg} \delta}$$

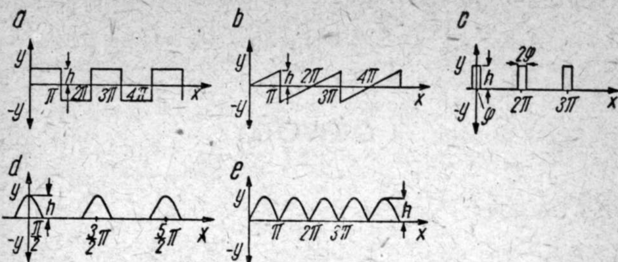
P — moc zamieniona w ciepło [W]
R — oporność strat [Ω]
f — częstotliwość [Hz]
C — pojemność urządzenia [F]
U — napięcie skuteczne [V]
δ — kąt stratności grzanego materiału

SZEREGI FOURIERA

Każdy przebieg okresowy można przedstawić za pomocą szeregu Fouriera:

a) przebieg prostokątny

$$f(x) = \frac{4h}{\pi}\left(\sin x + \frac{\sin 3x}{3} + \frac{\sin 5x}{5} + \frac{\sin 7x}{7} + \dots\right)$$



Rys. 39

b) przebieg piłowy

$$f(x) = \frac{2h}{\pi}\left(\sin x - \frac{1}{2}\sin 2x + \frac{1}{3}\sin 3x + \ldots\right)$$

c) impulsy prostokątne

$$f(x) = \frac{2h}{\pi}\left(\frac{\varphi}{2} + \frac{\sin\varphi}{1}\cos x + \frac{\sin 2\varphi}{2}\cos 2x + \frac{\sin 3\varphi}{3}\cos 3x + \ldots\right)$$

d) półokresowy prąd wyprostowany

$$f(x) = \frac{h}{\pi} + \frac{h}{2}\cos x + \frac{2h}{\pi}\left(\frac{\cos 2x}{1\cdot 3} - \frac{\cos 4x}{3\cdot 5} + \frac{\cos 6x}{5\cdot 7} + \ldots\right)$$

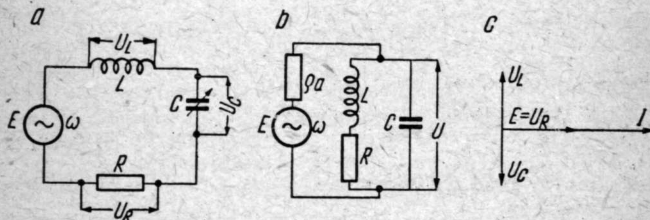
e) pełnookresowy prąd wyprostowany

$$f(x) = \frac{2h}{\pi} - \frac{4h}{\pi}\left(\frac{\cos 2x}{3} + \frac{\cos 4x}{3\cdot 5} + \frac{\cos 6x}{5\cdot 7} + \ldots\right)$$

OBWODY

OBWÓD DRGAŃ

Aby w obwodzie elektrycznym złożonym z R, L i C mogły powstać drgania, należy zasilać go ze źródła wzbudzającego, które może być włączone szeregowo z tymi elementami (rys. 40*a*) lub równolegle do nich (rys. 40*b*).



Rys. 40

Szeregowe włączenie stosuje się dla źródeł o małej oporności wewnętrznej.

$$\hat{Z} = \frac{\hat{E}}{\hat{I}} = R + \mathrm{j}\left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}\right)$$

Moduł tej oporności

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}$$

Przesunięcie fazy między sem. źródła a prądem w obwodzie

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega \cdot L - \dfrac{1}{\omega \cdot C}}{R}$$

Najmniejsza oporność

$$\hat{Z}_{min} = R$$

następuje, gdy (rys. 40*c*)

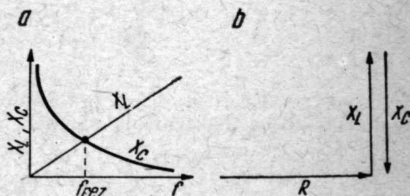
$$\omega \cdot L = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

Częstotliwość drgań własnych

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Gdy częstotliwość źródła $\omega = \omega_0$ następuje rezonans. Podczas rezonansu (rys. 41):

1) oporność indukcyjna obwodu kompensuje równą, lecz o przeciwnym znaku oporność pojemnościową,
2) prąd w obwodzie jest największy,
3) prąd w obwodzie jest w fazie ($\varphi = 0$) z sem. źródła.



Rys. 41

Tłumienie obwodu

$$d = \frac{R}{\sqrt{\frac{L}{C}}} = \frac{R}{\varrho}$$

gdzie:

$$\varrho = \sqrt{\frac{L}{C}} = \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$$

jest opornością charakterystyczną (falową) obwodu.

Dobroć obwodu

$$Q = \frac{1}{d} = \frac{\varrho}{R}$$

Pasmo przenoszone

$$2\Delta\omega = \omega_0 d$$

Obwód równoległy (rys. 40b) stosuje się przy źródłach o dużej oporności wewnętrznej

$$\frac{1}{\hat{Z}} = \frac{1}{R + j\,\omega \cdot L} + j \cdot \omega C = \frac{1 - \omega^2 \cdot L \cdot C + j\omega\, R \cdot C}{R + j\,\omega\, L}$$

$$|Z| = \sqrt{\frac{R^2 + \omega^2 \cdot L^2}{(1 - \omega^2 \cdot L \cdot C)^2 + \omega^2 \cdot R^2 \cdot C^2}}$$

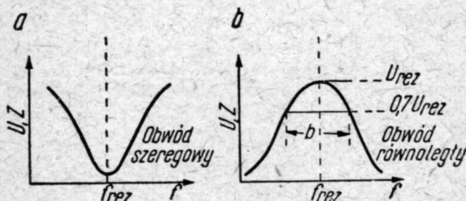
$$\varphi = \sqrt{\frac{d^2 + \dfrac{\omega^2}{\omega_0^2}}{\left(1 - \dfrac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)^2 + d^2\,\dfrac{\omega^2}{\omega_0^2}}}$$

Przy rezonansie (rys. 40) oporność obwodu ma charakter oporności czynnej i osiąga maksymalną wartość.

$$|\hat{Z}|_{max} = \frac{R}{d} = \varrho$$

REZONANS OBWODU DRGAŃ

Warunek rezonansu $X_L = X_C$



Rys. 42

$$\omega \cdot L = \frac{1}{\omega \cdot C}; \qquad \omega^2 \cdot L \cdot C = 1$$

$$L = \frac{1}{\omega^2 \cdot C}; \qquad C = \frac{1}{\omega^2 \cdot L}; \qquad L = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C}; \qquad C = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L}$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}; \qquad f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \cdot C}}$$

X_L — oporność indukcyjna [Ω]
X_C — oporność pojemnościowa [Ω]
f — częstotliwość rezonansowa [Hz]
L — indukcyjność [H]
C — pojemność [F]
Gdy f w kHz, L w mH i C w pF to:

$$f = \frac{5033}{\sqrt{L \cdot C}}$$

$$f^2 = \frac{2{,}533 \cdot 10^7}{L \cdot C}; \qquad L = \frac{2{,}533 \cdot 10^7}{f^2 \cdot C}; \qquad C = \frac{2{,}533 \cdot 10^7}{f^2 \cdot L}$$

Gdy f w MHz, L w μH i C w pF to:

$$f = \frac{159}{\sqrt{L \cdot C}}$$

Przykład: cewka słuchawki ma indukcyjność około 2 mH. Przy jakiej częstotliwości wystąpi rezonans, jeżeli słuchawka jest włączona przez kondensator 0,2 μF?

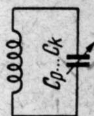
$$f = \frac{1}{6{,}28\sqrt{2 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-7}}} = 8000 \text{ Hz}$$

OBLICZENIE ZAKRESU STROJENIA

Strojeniem odbiornika nazywamy czynności związane z wybieraniem żądanej radiostacji. W praktyce bardziej rozpowszechnione jest strojenie za pomocą zmiany pojemności. Zakres strojenia przy zmianie częstotliwości obwodu strojeniowego za pomocą pojemności zależy od pojemności początkowej (p) i końcowej (k) tego kondensatora

$$a_z = \frac{C_k}{C_p} = \left(\frac{f_g}{f_d}\right)^2$$

$$f_g = f_d\sqrt{a_z} = f_d\sqrt{\frac{C_k}{C_p}}$$



Rys. 43

C_p — pojemność początkowa kondensatora strojeniowego
C_k — pojemność końcowa kondensatora strojeniowego
f_g — górna granica częstotliwości
f_d — dolna granica częstotliwości
a_z — zmiana pojemności

CZĘSTOTLIWOŚCI LUSTRZANE W ODBIORNIKACH Z PRZEMIANĄ CZĘSTOTLIWOŚCI

Przy każdej częstotliwości heterodyny (generatora) (f_0) istnieją dwie częstotliwości sygnału (f_s i f_l), które mogą być jednocześnie odbierane, gdyż w wyniku przemiany dają tę samą częstotliwość pośrednią.

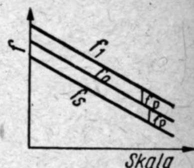
$$f_o = f_s + f_p = f_l - f_p$$

$$f_s = f_o - f_p = f_l - 2 \cdot f_p$$

$$f_p = f_o - f_s = f_l - f_o = \frac{f_l - f_s}{2}$$

$$f_l = f_s + 2f_p = f_o + f_p \quad (\text{dla } f_o > f_s)$$

f_s — częstotliwość sygnału odbieranego
f_o — częstotliwość generatora
f_p — częstotliwość pośrednia
f_l — częstotliwość lustrzana

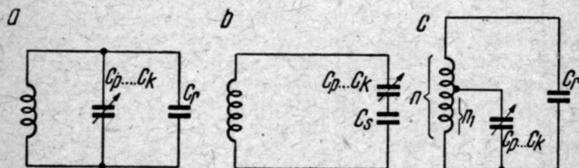


Rys. 44

ROZCIĄGANIE ZAKRESU

Ze względu na trudności dostrojenia się do stacji w zakresie krótkofalowym, gdzie istnieje dużo kanałów radiofonicznych, oraz na zagęszczenie radiostacji w pewnych pasmach stosuje się metodę polegającą na podzieleniu zakresu fal krótkich na podzakresy. Uzyskuje się to przez dodatkowe kondensatory włączone szeregowo i równolegle do kondensatora zmiennego, albo też przez odczep cewki.

Kondensator równoległy (rys. 45*a*)



Rys. 45

$$\Delta C = C_k - C_p$$

$$a = \frac{C_k}{C_p}; \qquad a' = 1 + \frac{\Delta C}{C_r + C_p} = \left(\frac{f_g}{f_d}\right)^2$$

$$C_r = \frac{\Delta C}{a' - 1} - C_p \qquad C_r = \frac{f_d^2 \cdot \Delta C}{f_g^2 - f_d^2} - C_p$$

Kondensator szeregowy (rys. 45*b*)

$$a' = \frac{C_k}{C_p}\left(\frac{C_s + C_p}{C_s + C_k}\right) = a\left(\frac{C_s + C_p}{C_s + C_k}\right)$$

$$C_s = C_k\left(\frac{a' - 1}{a - a'}\right)$$

Odczep cewki (rys. 45*c*)

$$p = \frac{n}{n_1}$$

$$a' = 1 + \frac{\Delta C}{C_p + p^2 \cdot C_r}$$

$$C'_{max} = C_r + \frac{C_k}{p^2}$$

$$C_r = \frac{1}{p^2}\left(\frac{C}{a' - 1}\right) - C_p$$

$$p = \sqrt{\frac{1}{C_r}\left(\frac{C}{a' - 1} - C_p\right)}$$

C_p — pojemność początkowa kondensatora
C_k — pojemność końcowa kondensatora
C_r — pojemności równoległe
ΔC — zmiana pojemności
a — stosunek pojemności końcowych kondensatora obrotowego
a' — stosunek pojemności końcowych całego układu
f_g — górna częstotliwość graniczna
f_d — dolna częstotliwość graniczna
C_s — pojemność szeregowa
n — całkowita liczba zwojów
n_1 — liczba zwojów równoległa do kondensatora zmiennego
C'_{max} — maksymalna pojemność całego układu
p — przekładnia

DOBROĆ OBWODU RÓWNOLEGŁEGO

Dobroć Q określa, ile razy jest większe napięcie U_L lub U_C w obwodzie szeregowym oraz prąd I_L lub I_C w obwodzie równoległym w stosunku do prądu całkowitego lub napięcia doprowadzonego do zacisków obwodu.

Obwód szeregowy:

$$d = \frac{U}{U_L} = \frac{R}{\omega \cdot L} = R\sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$Q = \frac{1}{d} = \frac{\omega \cdot L}{R} = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$B \doteq d \cdot f_{rez} = \frac{f_{rez}}{Q} = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot L}$$

$$Q = \frac{f_{rez}}{B}$$

Obwód równoległy

$$d = \frac{I}{I_L} = \frac{\omega L}{R} = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$Q = \frac{1}{d} = \frac{R}{\omega \cdot L} = R\sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$B = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C \cdot R}$$

Q — dobroć obwodu
d — tłumienie obwodu
U — napięcie całkowite na obwodzie
U_L — napięcie na cewce
U_C — napięcie na kondensatorze
I_L — prąd w cewce
I_C — prąd w kondensatorze
R — oporność strat
B — szerokość pasma

Przykład: jaką dobroć powinien mieć obwód drgań aby przepuszczał sygnał o szerokości pasma 12 kHz przy częstotliwości nośnej 465 kHz

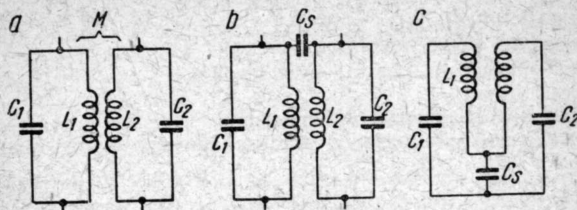
$$Q = \frac{f_{rez}}{B} = \frac{465}{12} \approx 40$$

FILTRY PASMOWE

Filtrami nazywamy układy elektryczne, które w określonych warunkach wprowadzają małe tłumienie w pewnych zakresach często-

tliwości zwanych pasmami przepustowymi, natomiast wprowadzają dostatecznie duże tłumienie sygnałów w innych zakresach częstotliwości zwanych pasmami tłumieniowymi filtru.

Sprzężenie indukcyjne (rys. 46*a*)



Rys. 46

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}}$$

Sprzężenie pojemnościowe (rys. 46*b*)

$$k \sim \frac{C_s}{\sqrt{C_1 \cdot C_2}} (C_s < C_1; \quad C_s < C_2)$$

Sprzężenie pojemnościowe (rys. 46*c*)

$$k = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_s} (C_s > C_1; \quad C_s > C_2)$$

Sprzężenie krytyczne

$$Q \cdot k = 1; \qquad B = \sqrt{2} \frac{f_{rez}}{Q}$$

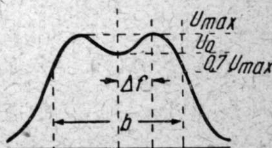
$$k_{śr} = \frac{S_a}{2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot B \cdot \sqrt{C_1 \cdot C_2}}$$

Sprzężenie nadkrytyczne (rys. 47)

$$2 \Delta f = \pm \sqrt{k^2 - \frac{1}{Q^2}}$$

Wysokość grzbietów

$$\frac{U_{max}}{U_0} = \frac{Q \cdot k + \frac{1}{Q \cdot k}}{2}$$



Rys. 47

Aby siodło nie było głębsze niż 70%, $Q \cdot k$ musi być mniejsze niż 2,41. Wówczas szerokość pasma wyniesie

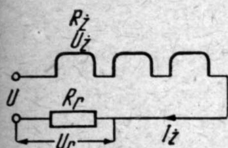
$$B = 3{,}1 \frac{f_{rez}}{Q}$$

Q — dobroć pojedynczego obwodu
B — szerokość pasma (0,7 U_{max})
$k_{śr}$ — wzmocnienie dla częstotliwości środkowej
$2\Delta f$ — rozstrojenie
f_{rez} — częstotliwość rezonansowa obwodu
S_a — nachylenie charakterystyki prądu anodowego lampy

LAMPY ELEKTRONOWE

OPORNIK REDUKCYJNY W OBWODZIE ŻARZENIA

W odbiornikach uniwersalnych, w których włókna żarzenia połączone są szeregowo, zachodzi niekiedy konieczność dołączenia szeregowego opornika w celu uzyskania właściwego natężenia prądu w obwodzie,



Rys. 48

$$R_r = \frac{U - U_i}{I_z}$$

$$U = U_{\dot{z}} + U_r$$

$$R_c = R_{\dot{z}} + R_r$$

$$I_i = \frac{U}{R_c} = \frac{U_i}{R_{\dot{z}}} = \frac{U_r}{R_r}$$

$$P_r = U_r \cdot I_{\dot{z}} = I_{\dot{z}}^2 \cdot R_r = \frac{U_r^2}{R_r}$$

U — napięcie sieci [V]
$R_{\dot{z}}$ — oporność włókien żarzenia [Ω]
R_r — oporność redukcyjna [Ω]
R_c — oporność całkowita [Ω]
$I_{\dot{z}}$ — prąd żarzenia [A]
$U_{\dot{z}}$ — całkowity spadek żarzenia na włóknach [V]
U_r — spadek napięcia na R_r [V]
P_r — strata mocy w R_r [W]

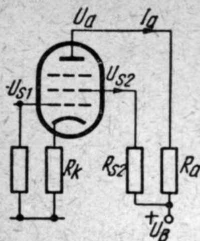
ZASILANIE PENTODY

$$U_a = U_B - I_a \cdot R_a$$

$$U_{s2} = U_B - I_{s2} \cdot R_{s2}$$

$$U_{s1} = I_k \cdot R_k$$

$$I_a = \frac{U_B - U_a}{R_a}\,; \qquad I_{s2} = \frac{U_B - U_{s2}}{R_{s2}}$$



Rys. 49

$$I_k = I_a + I_{s2} = \frac{U_{s1}}{R_k}; \qquad R_a = \frac{U_B - U_a}{I_a}$$

$$R_{s2} = \frac{U_B - U_{s2}}{I_{s2}}; \qquad R_k = \frac{U_{s1}}{I_k}$$

U_B — napięcie baterii zasilającej [V]
U_a — napięcie anodowe [V]
U_{s1} — napięcie siatki pierwszej [V]
U_{s2} — napięcie siatki drugiej [V]
R_a — oporność obciążenia (anodowa) [kΩ]
R_{s2} — oporność w doprowadzeniu siatki drugiej [kΩ]
R_k — oporność katodowa [kΩ]
I_a — prąd anodowy [mA]
I_{s2} — prąd siatki drugiej [mA]
I_k — prąd katodowy [mA]

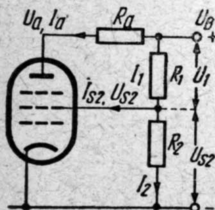
Ujemną polaryzację siatki sterującej można uzyskać dla danego punktu pracy wykorzystując spadek napięcia na oporniku w obwodzie katody.

Przykład: $U_{s1} = -3$ V; $I_a = 9{,}25$ mA; $I_{s2} = 0{,}6$ mA.
Obliczenie: $I_k = I_a + I_{s2} = 9{,}25 + 0{,}6 = 9{,}85$ mA

$$R_k = \frac{1000 \cdot 3}{9{,}85} \approx 300\ \Omega$$

SIATKA DRUGA ZASILANA Z DZIELNIKA NAPIĘCIA

Za pomocą dzielnika napięcia złożonego z oporników R_1 i R_2 można zapewnić stosunkowo stałe napięcie na siatce ekranowej lampy. W tym celu prąd I_2 powinien być co najmniej 3 razy większy niż prąd siatki I_{s2}.



Rys. 50

$$U_1 = R_1 \cdot I_1 = U_B - U_{s2}$$
$$U_{s2} = R_2 \cdot I_2 = U_B - U_1$$
$$I_{s2} = \frac{U_1}{R_1} - I_2$$
$$I_2 = \frac{U_{s2}}{R_2} = \frac{U_1}{R_1} - I_{s2}$$
$$R_1 = \frac{U_1}{I_2 + I_{s2}} = \frac{U_B - U_{s2}}{I_2 + I_{s2}}$$
$$R_2 = \frac{U_{s2}}{I_2}$$

U_1 — napięcie na R_1 [V]
U_B — napięcie baterii [V]
U_{s2} — napięcie siatki drugiej [V]
I_{s2} — prąd siatki drugiej [mA]
I_2 — prąd dzielnika [mA]
R_1 — opornik w obwodzie siatki drugiej [kΩ]
R_2 — opornik dzielnika [kΩ]

Przykład: $U_{s2} = 160$ V; $I_{s2} = 0{,}5$ mA; $U_B = 250$ V

$$R_2 = \frac{160}{3 \cdot 0{,}5 \cdot 10^{-3}} = 105\,000\ \Omega = 105\ \mathrm{k\Omega}$$

$$R_1 = \frac{250 - 160}{4 \cdot 0{,}5 \cdot 10^{-3}} = 45\ \mathrm{k\Omega}$$

STATYCZNE PARAMETRY LAMP

Tym mianem nazywane są parametry lamp określane bez obciążenia w obwodzie anodowym. Parametry statyczne lampy określają jej właściwości, lecz nie zawsze dają dokładne pojęcie o jakości jej pracy w danym konkretnym układzie

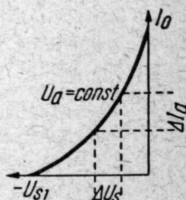
$$K_a = S_a \cdot \varrho_a\ ; \qquad S_a \cdot \varrho_a \cdot \frac{1}{K_a} = 1\ ; \qquad D = \frac{1}{K_a}\ ; \qquad K_a = \frac{1}{D}$$

$$S_a = \frac{K_a}{\varrho_a}\ ; \qquad S_a = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_s} \ \text{(przy } U_a = \text{const)}$$

$$K_a = S_a \cdot \varrho_a\ ; \qquad K_a = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_s} \ \text{(przy } I_a = \text{const)}$$

$$\varrho_a = \frac{K_a}{S_a}\ ; \qquad \varrho_a = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} \ \text{(przy } U_{s1} = \text{const)}$$

$$D = \frac{1}{S_a \cdot \varrho_a}\ ; \qquad D = \frac{\Delta U_s}{\Delta U_a} \ \text{(przy } I_a = \text{const)}$$



Rys. 51

$$D_{\%} = D \cdot 100 \qquad D = \frac{D_{\%}}{100} \qquad q = S_a \cdot K_a$$

S_a — nachylenie [mA/V]
ϱ_a — oporność wewnętrzna [kΩ]
D — przechwyt
K_a — współczynnik amplifikacji [V/V]

U_a — napięcie anodowe [V]
U_{s1} — napięcie siatki pierwszej [V]
I_a — prąd anodowy [mA]
q — współczynnik dobroci

DYNAMICZNE PARAMETRY LAMP

Parametry lamp określane przy istnieniu obciążenia w obwodzie anodowym

Trioda:

$$S_d = S_a \cdot \frac{\varrho_a}{\varrho_a + R_a} = \frac{S_a}{1 + S_a \cdot D \cdot R_a}$$

$$K_u = \frac{u_a}{u_s} = K_a \cdot \frac{R_a}{\varrho_a + R_a}; \qquad U_a = U_s \cdot K_a \cdot \frac{R_a}{\varrho_a + R_a}$$

$$i_a = U_s \cdot \frac{S_a \cdot \varrho_a}{\varrho_a + R_a} = u_s \cdot K_a \frac{1}{\varrho_a + R_a} = S_d \cdot u_s$$

Pentoda

$$i_a = S_a \cdot u_s; \qquad u_a = i_a \cdot R_a = R_a \cdot S_a \cdot u_s$$

$$K_u = S_d \cdot R_a = \frac{u_a}{u_s}$$

S_a — nachylenie statyczne [mA/V]
S_d — nachylenie dynamiczne (robocze) [mA/V]
ϱ_a — oporność wewnętrzna [kΩ]
R_a — oporność anodowa (zewnętrzna) [kΩ]
K_u — wzmocnienie [V/V]
u_s — napięcie zmienne na siatce [V]
u_a — napięcie zmienne anodowe [V]

MOC STRAT ANODOWYCH

Ze wzrostem prądu anodowego wzrasta moc prądu stałego zasilającego lampę $P_a = I_a \cdot U_a$ i jednocześnie wzrasta moc strat anodowych objawiająca się w postaci ciepła wydzielanego w anodzie. Co prawda $P_{str} = P_a - P_{wyj}$, jednakże moc prądu zmiennego oddawana przez lampę jest znacznie mniejsza niż P_a, a w chwilach gdy brak jest sygnału na siatce lampy $P_{wyj} = 0$ i dlatego praktycznie należy przyjmować, że cała doprowadzana do lampy moc zamienia się w ciepło w anodzie.

Z tego względu prąd anodowy nie może przekraczać wartości większej niż to wynika z zależności $P_a = I_a \cdot U_a$ i mocy admisyjnej anody lampy

$$P_{str} = P_a - P_{wyj}$$

$$P_a = I_a \cdot U_a$$

P_{str} — moc strat anodowych [W]
P_a — obciążenie anody [W]
P_{wyj} — moc oddawana [W]
I_a — stały prąd anodowy [mA]
U_a — stałe napięcie anodowe [V]

SZEROKOPASMOWOŚĆ PENTODY (DOBROĆ)

Szerokość pasma częstotliwości jakie może wzmacniać dana lampa zależy od stosunku nachylenia S_a do sumy pojemności wejściowej i wyjściowej lampy $S_a : (C_{wej} + C_{wyj})$. Ta wartość równa się liczbowo iloczynowi szerokości pasma przepuszczania i współczynnika amplifikacji

$$K_a \cdot B = \frac{S_a \cdot 10^3}{2 \cdot \pi \cdot (C_{wej} + C_{wyj})}; \quad K_a \cdot B = \text{const}; \quad \varrho_a \gg R_a$$

K_a — współczynnik amplifikacji [V/V]
B — szerokość pasma [MHz]
S_a — nachylenie [mA/V]
C_{wej} — pojemność wejściowa lampy [pF]
C_{wyj} — pojemność wyjściowa lampy [pF]

Wartość tego parametru wyrażona w MHz podana jest dla niektórych lamp w tablicy

6 Ж 1 П — 46	6 Ж 9 П — 129
6 Ж 3 П — 47	6 Ж 10 П — 46,5
6 Ж 4 П — 58,5	6 Ж 11 П — 163
6 Ж 4 П — 40	6 Ж 21 П — 152
6 Ж 5 П — 80	6 Ж 22 П — 240
6 Ж 5 П — 69	E 180 F — 270

RÓWNOWAŻNA OPORNOŚĆ SZUMÓW r_{sz}

Szumy lampy są określane za pomocą oporności takiego opornika, który w temp. pokojowej wywołuje takie samo napięcie szumów jak szumy lampy odniesione do obwodu lampy. Jest to tzw. równoważna oporność szumów. Podane niżej wzory są przybliżone.

Trioda:

$$r_{sz} \approx \frac{2{,}5}{S_a \cdot \sigma}$$

Pentoda:

$$r_{sz} \approx \frac{2{,}5}{S_a \cdot \sigma} \cdot \frac{I_a}{I_k} + \frac{20 \cdot I_a \cdot I_{sz}}{S_a^2 \cdot I_k}$$

$$I_k = I_a + I_{s2}$$

Mieszacz sumacyjny z triodą:

$$r_{sz} \approx \frac{13}{S_{a\,max}}$$

Mieszacz iloczynowy (heksoda, oktoda)

$$r_{sz} \approx 12 \frac{I_a}{S_p^2}$$

Sem szumów:

$$u^2 = 4 \cdot k \cdot T \cdot R \cdot B$$

Równoważne napięcie szumów sprowadzone do wejścia: ($t = 20°C$)

$$U_{s\,sz} \approx 0{,}126 \sqrt{r_{sz} \cdot B}$$

r_{sz} — równoważna oporność szumów [kΩ]
S_a — nachylenie lampy [mA/V]
σ — współczynnik (0,7 ... 0,8)
I_a — prąd anodowy [mA]
I_{s2} — prąd siatki drugiej [mA]
I_k — prąd katodowy [mA]
$S_{a\,max}$ — nachylenie przy najwyższym napięciu generatora [mA/V]
S_p — nachylenie przemiany [mA/V]
T — temperatura absolutna [°K]
B — szerokość pasma [kHz]
r_{sz} — oporność szumów [Ω]
k — stała Boltzmanna $= 1{,}38 \cdot 10^{-23} \left[\frac{Ws}{°K}\right]$
$U_{s\,sz}$ — napięcie szumów odniesione do siatki [V]

Wartości r_{sz} dla niektórych lampy (Ω)

1 Ж 17 Б — 6000	6 Ж 3 П — 1630
1 Ж 18 Б — 6000	6 Ж 4 — 700
1 Ж 27 П — 7000	6 Ж 4 П — 3710
6 Б 8 С — 4000	6 Ж 5 Б — 1000
6 Ж 1 Б — 4000	6 Ж 6 С — 510
6 Ж 1 Ж — 5300	6 Ж 8 — 6150
6 Ж 1 П — 3700	6 Ж 9 П — 350
6 Ж 2 П — 5180	6 Ж 20 П — 1000

6Ж21П — 1000	6П9 — 1160
6Ж22П — 500	6С1Ж — 1130
6К4 — 3700	6С1П — 1130
6Н3С — 700	6С3П — 200
6Н8С — 900	6С4П — 200
6Н14П — 700	6С15П — 400
6Н15П — 470	6Ф1П — 1500

OPORNOŚĆ WEJŚCIOWA LAMPY (r_{wej})

Parametr mający istotne znaczenie przy falach decymetrowych i centymetrowych. Istnienie pojemności wejściowej, indukcyjności doprowadzeń oraz czasu przelotu elektronów od katody do siatki, współmiernego z okresem wzmacnianych drgań, powoduje to, że wraz ze wzrostem częstotliwości roboczej czynna oporność wejściowa lampy maleje.

Wartość r_{wej} jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu częstotliwości

$$r_{wej} = \frac{A}{f^2}$$

gdzie: A — stała
f — częstotliwość

W katalogach podawana jest wartość r_{wej} dla określonej częstotliwości f_1. Jeżeli chcemy obliczyć $r_{wej\ 2}$ dla innej częstotliwości f_2, to korzystamy z zależności

$$\frac{r_{wej\ 2}}{r_{wej}} = \frac{f_1^2}{f_2^2}$$

skąd

$$r_{wej\ 2} = \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2 r_{wej}$$

Przykład: Oporność wejściowa lampy $r_{wej} = 19\ \text{k}\Omega$ dla częstotliwości 60 MHz. Obliczyć oporność wejściową $r_{wej\ 2}$ dla częstotliwości 150 MHz

$$r_{wej\ 2} = \left(\frac{60}{150}\right)^2 19 \approx 3\ \text{k}\Omega$$

SAMOWZBUDZENIE PENTODY

Wzmacniacz pracuje stabilnie, gdy nie ma dodatnich sprzężeń zwrotnych między wyjściem i wejściem. W lampie sprzężenie zwrotne może występować przez pojemność C_{sa} i może stać się przyczyną powstawania

drgań (samowzbudzenie). A więc w celu zapewnienia stabilnej pracy należy ograniczyć wzmocnienie do pewnych granic uwarunkowanych wartością pojemności C_{sa}.

Krytyczna pojemność między siatką i anodą

$$C_{sa} = \frac{2 \cdot p}{S_a \cdot R_{rez}^2 \cdot \omega}$$

Krytyczna oporność zewnętrzna

$$R_{rez} = \sqrt{\frac{2 \cdot p}{S_a \cdot C_{sa} \cdot \omega}}$$

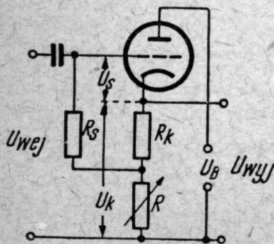
Krytyczne wzmocnienie

$$k_u = S_a \cdot R_{rez} = \sqrt{\frac{2 \cdot S_a \cdot p}{C_{sa} \cdot \omega}}$$

C_{sa} — pojemność siatka-anoda lampy [pF]
S_a — nachylenie lampy [mA/V]
R_{rez} — oporność rezonansowa dołączonego obwodu drgań [MΩ]
p — współczynnik pewności zapobiegający powstawaniu drgań (pojedynczy obwód drgań $p = 0,2$; strojony filtr pasmowy $p = 0,1$).
f — częstotliwość [kHz]

WTÓRNIK KATODOWY (UKŁAD Z UZIEMIONĄ ANODĄ)

We wtórniku katodowym oporność robocza znajduje się w doprowadzeniu katody. Ponieważ napięcie wejściowe wynosi $u_s + u_k$, to napięcie wyjściowe u_{wyj} jest od niego mniejsze i wzmocnienie napięciowe układu musi być <1. Napięcie wyjściowe takiego wzmacniacza jest w fazie z napięciem wejściowym. Wzmacniacz charakteryzuje się dużą opornością wejściową i małą opornością wyjściową.



Rys. 52

$$k_u = \frac{K_a}{K_a + 1} \cdot \frac{(R_k + R)}{\frac{\varrho_a}{K_a + 1} + (R_k + R)}$$

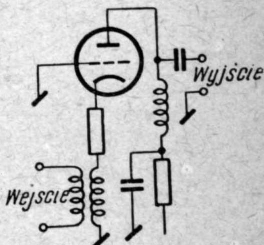
$$\varrho_a' = \frac{1}{S_a} \cdot \frac{K_a}{K_a + 1}$$

k_u — wzmocnienie (mniejsze niż 1) [V/V]
K_a — współczynnik amplifikacji [V/V]
$(R_k + R)$ — całkowita oporność w doprowadzeniu katody [Ω]
ϱ_a — oporność wewnętrzna lampy [kΩ]
ϱ'_a — całkowita oporność wewnętrzna układu [kΩ]
S_a — nachylenie lampy [mA/V]

TRIODA W UKŁADZIE Z UZIEMIONĄ SIATKĄ

Układ charakteryzuje się tym, że siatka jest dla prądów zmiennych uziemiona. Napięcie zmienne doprowadzane jest między katodę i uziemienie (uziemioną siatkę).

Uziemiona siatka jest ekranem między obwodem wyjściowym a wejściowym i zapobiega sprzężeniu zwrotnemu. Z tego względu układ jest często stosowany w stopniach wejściowych zakresu UKF.



Rys. 53

$$r_{wej} = \frac{1}{S_a} \cdot \left(1 + \frac{R_a}{\varrho_a}\right)$$

Przy obliczaniach przybliżonych

$$r_{wej} = \frac{1}{S_a}; \qquad (\text{przy } R_a < \varrho_a)$$

$$k_u = S_a \cdot \frac{R_a \cdot \varrho_a}{R_a + \varrho_a} \quad (\text{gdy przewodność anodowa} < S_a)$$

$$r_{wyj} = \varrho_a + K_a r'_{wej}$$

(r_{wej} jest dużo mniejsze niż w układzie z uziemioną katodą; k_u ma wartość podobną. Neutralizacja nie jest wymagana)

r_{wej} — oporność wejściowa
S_a — nachylenie
R_a — oporność anodowa
ϱ_a — oporność wewnętrzna
k_u — wzmocnienie
r'_{wej} — całkowita oporność obwodu wejściowego

GENERATOR

Do wytwarzania drgań (do 1000 MHz) stosowane są lampy elektronowe z siatką sterującą. Obwód drgań określający częstotliwość

drgań może znajdować się albo w doprowadzeniu anody, albo — siatki. Dzięki sterującemu działaniu siatki część energii prądu stałego przekształca się w energię prądu zmiennego. Drgania powstają dzięki sprzężeniu zwrotnemu, gdyż część energii z obwodu wyjściowego jest dostarczana do obwodu wejściowego.

Aby powstały drgania:

$$\beta \cdot k_u > 1$$

Aby drgania utrzymały się:

$$\beta \cdot k_u = 1$$

$$\beta = \frac{1}{K_a} + \frac{1}{S_a \cdot R_a}$$

$$\beta = -\frac{u_s}{u_a}$$

$$\beta = \frac{1}{S_a}\left(\frac{\varrho_a + \widehat{R}_a}{\varrho_a \cdot \widehat{R}_a}\right)$$

Dla układu Colpittsa przy małym tłumieniu i małym prądzie siatki

$$\beta = -\frac{u_s}{u_a} \approx \frac{C_{ak}}{C_{sk}}$$

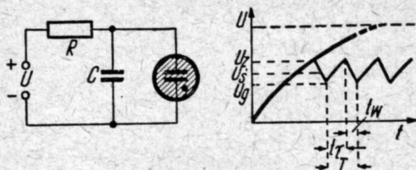
Dla układu Hartley'a przy małym tłumieniu i małym prądzie siatki:

$$\beta = -\frac{u_s}{u_a} \approx \frac{L_{sk}}{L_{ak}}$$

β — współczynnik sprzężenia zwrotnego
k_u — wzmocnienie
K_a — współczynnik amplifikacji $= \frac{1}{D}$
D — przechwyt
S_a — nachylenie [mA/V]
ϱ_a — oporność wewnętrzna [kΩ]
$\widehat{R}_a$ — oporność zespolona
u_s — napięcie zmienne na siatce [V]
u_a — napięcie zmienne na anodzie [V]
L_{sk} — indukcyjność między siatką a katodą
L_{ak} — indukcyjność między anodą a katodą
C_{sk} — pojemność między siatką a katodą
C_{ak} — pojemność między anodą a katodą

DRGANIA RELAKSACYJNE (rys. 54)

Układ taki jest stosowany do wytwarzania drgań niesinusoidalnych (relaksacyjnych). Kondensator C jest ładowany przez opornik R aż do chwili gdy napięcie na nim stanie się równe napięciu zapłonu (U_z). Wówczas gaz w lampie zostaje zjonizowany, jej oporność nagle spada i przez lampę, płynie prąd. Kondensator się rozładowuje do chwili gdy



Rys. 54

napięcie na lampie spadnie poniżej napięcia jonizacji U_g. Wówczas lampa przestaje przewodzić, gdyż jej oporność nagle wzrasta. W wyniku napięcie na kondensatorze oscyluje pomiędzy dwoma poziomami.

$$T = t_l + t_w$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_l + t_w}$$

$$t_l = R \cdot C \cdot \ln \frac{U - U_g}{U - U_z}$$

$$t_w = \varrho_a \cdot C \cdot \ln \frac{U_z}{U_g}$$

Jeżeli założymy, że charakterystyka jest linią łamaną, to:

$$f = \frac{U - U_ś}{C \cdot R (U_z - U_g)}$$

$$U_ś = \frac{U_z + U_g}{2}$$

W układach z pentodą jako opornikiem ładującym

$$t_l = \frac{C (U_z - U_g)}{I_l} \qquad f = \frac{1}{\frac{C \cdot (U_z - U_g)}{I_l} + \varrho_a \cdot C \cdot \ln \frac{U_z}{U_g}}$$

Dla obliczeń przybliżonych z pominięciem czasu rozładowania:

$$f = \frac{I_l}{C\,(U_z - U_g)}$$

T — czas trwania okresu [s]
t_l — czas ładowania [s]
t_w — czas wyładowania [s]
U — napięcie doprowadzone [V]
$U_{ś}$ — napięcie średnie [V]
U_z — napięcie zapłonu [V]
U_g — napięcie gaśnięcia [V]
f — częstotliwość drgań [Hz]
R — oporność ładująca [Ω]
C — pojemność ładowana [F]
ϱ_a — oporność wewnętrzna neonówki [Ω]
I_l — prąd płynący przez pentodę [A]

UKŁADY Z LAMPĄ REAKTANCYJNĄ

Lampa elektronowa może pracować w takim układzie sprzężenia zwrotnego, że będzie się zachowywała jak zmienna pojemność lub indukcyjność. Zmiana charakteru reaktancji lampy odbywa się za pomocą zmiany nachylenia charakterystyki prądu anodowego. Zmiana ta odbywa się za pomocą zmiany napięcia polaryzacji siatki sterującej.

Dla układu z rys. 55*a* impedancja:

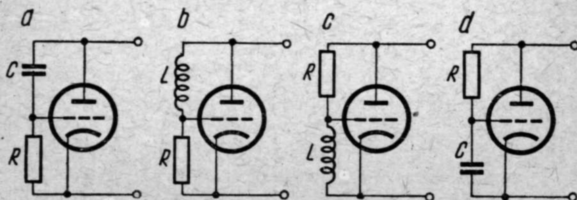
$$\hat{Z} = \frac{1}{S_a} + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C \cdot S_a \cdot R}$$

i ma charakter pojemności

$$C' = R \cdot C \cdot S_a$$

Dla układu z rys. 55*c* impedancja:

$$\hat{Z} = \frac{1}{S_a} + \frac{R}{j \cdot \omega \cdot L \cdot S_a}$$



Rys. 55

i ma charakter pojemności

$$C' = \frac{L \cdot S_a}{R}$$

Dla układu z rys. 55*b* impedancja:

$$\hat{Z} = \frac{1}{S_a} + j\frac{\omega \cdot L}{S_a \cdot R}$$

i ma charakter indukcyjności

$$L' = \frac{L}{S_a \cdot R}$$

Dla układu z rys. 55*d* impedancja:

$$\hat{Z} = \frac{1}{S_a} + j\frac{\omega \cdot R \cdot C}{S_a}$$

i ma charakter indukcyjności

$$L' = \frac{R \cdot C}{S_a}$$

R — oporność [Ω]
S_a — nachylenie [mA/V]
L — indukcyjność [H]
C — pojemność [F]

FILTR KATODOWY

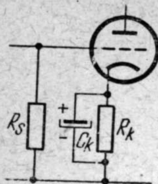
Opornik katodowy R_k służy do automatycznego wytwarzania ujemnej polaryzacji siatki U_{s1}. Siatka lampy powinna mieć tak niski potencjał ujemny w stosunku do katody aby nawet przy najwyższych szczytach napięcia doprowadzonego do niej siatka pozostawała ujemna i aby nie płynał prąd siatki.

Wartość napięcia polaryzacji lampy przyjmuje się z katalogu. Wartość oporności oblicza się z prawa Ohma

$$R_k = \frac{U_{s1}}{I_k}$$

W celu uniknięcia ujemnego prądowego sprzężenia zwrotnego, oporność kondensatora dla dolnej częstotliwości granicznej powinna wynosić 1/10 wartości oporności opornika katodowego

$$X_C = 0{,}1\ R_k$$



Rys. 56

$$C_k = \frac{1590}{f_d \cdot R_k}$$

Dla $f_d = 50$ Hz

$$C_k \approx \frac{30}{R_k}$$

X_C – oporność kondensatora [kΩ]
R_k – opornik katodowy [kΩ]
C_k – kondensator katodowy [μF]
f_d – dolna częstotliwość graniczna [Hz]
I_k – prąd katodowy lampy [mA]

P r z y k ł a d: Prąd anodowy lampy wynosi $I_a = 36$ mA, a prąd siatki drugiej $I_{s2} = 5{,}2$ mA. Napięcie polaryzacji lampy $U_{s1} = 7$ V. Obliczyć wartość oporności opornika katodowego R_k.

$$I_k = I_a + I_{s2} = 36 + 5{,}2 = 41{,}2 \text{ mA}$$

$$R_k = \frac{U_{s1}}{I_k} = \frac{7}{41{,}2} \approx 0{,}17 \text{ k}\Omega = 170\ \Omega$$

$$X_C = 0{,}1\ R_k = 17\ \Omega$$

$$C_k \approx \frac{30}{R_k}\ \frac{30}{0{,}170} = \frac{3000}{17} \approx 180\ \mu\text{F}$$

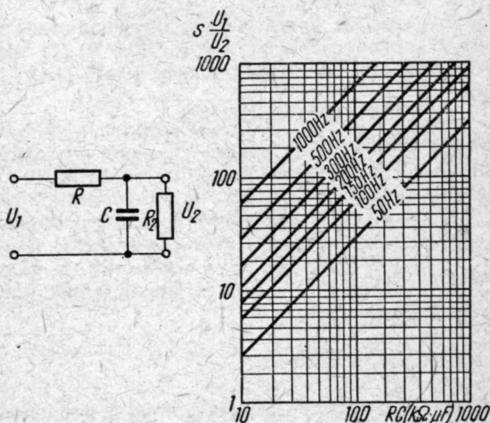
KONDENSATOR SPRZĘGAJĄCY

Kondensator blokujący siatkę C_s oraz opornik w doprowadzeniu siatki R_s tworzą filtr górnoprzepustowy. Wartość R_s wynosi zazwyczaj około 1 MΩ. Ponieważ zazwyczaj $X_C = \frac{R_s}{10}$, to pojemność kondensatora sprzęgającego wyniesie 100 kΩ. Stąd wynika pojemność dla 50 Hz, która wynosi 30 nF (w praktyce wynosi ona 10 ... 20 nF).

FILTRY

FILTR DOLNOPRZEPUSTOWY *RC*

Układ elektryczny złożony z opornika i kondensatora, który tłumi wszystkie częstotliwości większe niż częstotliwość graniczna f_g, a przepuszcza wszystkie częstotliwości mniejsze niż f_g.



Rys. 57

$$s = \frac{u_1}{u_2} = 1 + \frac{R}{R_2} + j \cdot \omega \cdot C \cdot R$$

$$f_g = \frac{\dfrac{1}{R} + \dfrac{1}{R_2}}{2 \cdot \pi \cdot C}$$

Jeżeli $R \ll R_2$; $R > \frac{1}{C}$, to

$$s \approx \omega \cdot C \cdot R; \quad f_g \approx \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

Częstotliwość graniczną filtru górno- lub dolnoprzepustowego można obliczyć z wzoru przybliżonego

$$f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

Oporność pojemnościowa kondensatora X_C stanowi zaledwie w takich układach 1/10 oporności czynnej $X_C \approx \frac{R}{10}$, a to ze względu na liniowość charakterystyki przepustowej.

Obliczenie znacznie się upraszcza gdy uwzględnimy, że oporność kondensatora o pojemności 1 μF wynosi dla 50 Hz około 3200 Ω. Dla innych odpowiednie wartości podano w tabl. 9.

Tablica 9

Oporność pojemnościowa

C	X_C
10 μF	318Ω ≈ 320Ω
1 μF	3180Ω ≈ 3,2kΩ
0,1 μF	31800Ω ≈ 32kΩ

u_1 — napięcie wejściowe [V]
u_2 — napięcie wyjściowe [V]
R — oporność filtru [Ω]
C — kondensator filtru [F]
R_2 — oporność obciążenia [Ω]
f — częstotliwość [Hz]
f_g — częstotliwość graniczna [Hz]
s — współczynnik filtracji

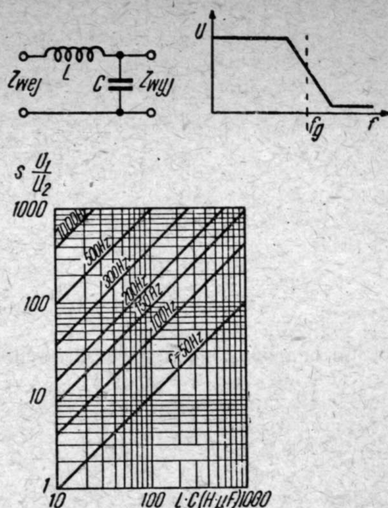
FILTR DOLNOPRZEPUSTOWY *LC*

Układ elektryczny złożony z indukcyjności i pojemności (rys. 58), który tłumi wszystkie częstotliwości większe niż częstotliwość graniczna f_g, a przepuszcza wszystkie częstotliwości mniejsze niż f_g.
Zakłada się właściwe dopasowanie, tzn.:

$$Z_{wej} = Z_{wyj} = Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

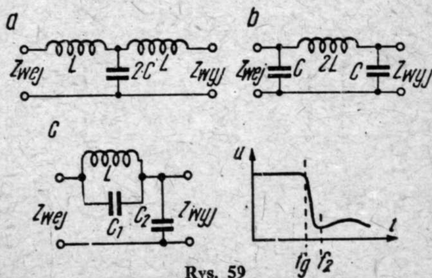
Częstotliwością graniczną jest częstotliwość rezonansowa

$$f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \sqrt{L \cdot C}}; \quad L = \frac{Z}{2 \cdot \pi \cdot f_g}; \quad C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot Z}$$



Rys. 58

Te same wzory odnoszą się do filtru typu T z dwiema cewkami o indukcyjności L i kondensatorze o pojemności $2 \cdot C$ oraz do filtru typu π z jedną cewką $2 \cdot L$ i dwoma kondensatorami po C (rys. 59*a* i *b*).



Rys. 59

PODWÓJNY FILTR DOLNOPRZEPUSTOWY

W takim układzie elektrycznym (rys. 59*c*) można uzyskać strome nachylenie charakterystyki filtru. Tutaj obwód równoległy składający się z kondensatora C_1 i cewki L ma częstotliwość rezonansową f_2 równą

częstotliwości granicznej f_g filtru. Stosunek $f_g : f_2$ wybiera się równy 0,95 do 0,8. Jeżeli R jest składową czynną oporności obciążenia Z_{wyj}, to dobiera się znamionową oporność układu $Z = 1,25\ R$. Przy tych założeniach:

$$Z = 1,25\ R\,; \qquad m = \sqrt{1 - \left(\frac{f_g}{f_2}\right)^2}$$

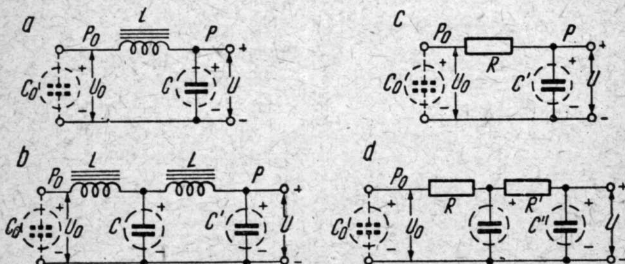
$$L = m\frac{Z}{2\cdot\pi\cdot f_g}\,; \qquad C_1 = \frac{1-m^2}{m}\cdot\frac{1}{2\cdot\pi\cdot f_g\cdot Z}$$

$$C_2 = m\frac{1}{2\cdot\pi\cdot f_g\cdot Z}$$

f_g — częstotliwość graniczna filtru [Hz]
f_2 — częstotliwość rezonansowa obwodu zaporowego [Hz]
L — indukcyjność obwodu zaporowego [H]
C_1 — pojemność obwodu zaporowego [F]
Z — oporność znamionowa [Ω]
R — oporność obciążenia [Ω]

FILTRY PROSTOWNIKA

Filtr prostownika zmniejsza napięcia tętnień prądu wyprostowanego. Filtr składa się zazwyczaj z pojemności i indukcyjności odpowiednio połączonych. Obliczenia przeprowadza się na podstawie założonych wartości napięcia wyprostowanego, prądu, współczynnika tętnienia oraz pojemności kondensatora na wyjściu filtru.



Rys. 60

F i l t r L C. Dla układu półokresowego przy filtrze pojedynczym (rys. 60*a*) $LC = \frac{10p_0}{p}$, a przy podwójnym (rys. 60*b*) $LC = L'C' = 10\sqrt{\frac{p_0}{p}}$

Dla układu pełnookresowego przy filtrze pojedynczym $LC = \frac{2,5\, p_0}{p}$,

a przy podwójnym $LC = L'C' = 2,5 \sqrt{\frac{p_0}{p}}$

Dla wszystkich układów można przyjąć $U = 0,8\ U_0$.

Filtr RC. Dla układu półokresowego przy filtrze pojedynczym (rys. 60*c*)

$$RC = \frac{3000\, p_0}{p};$$

a przy podwójnym (rys. 60 *d*)

$$RC = R'C' = 3000 \sqrt{\frac{p_0}{p}}$$

Dla układu pełnookresowego przy filtrze pojedynczym (rys. 60 *c*)

$$RC = \frac{1500\, p_0}{p};$$

a przy podwójnym (rys. 60 *d*)

$$RC = R'C' = 1500 \sqrt{\frac{p_0}{p}}$$

W układzie pojedynczym:

$$U = U_0 - \frac{I_0 \cdot R}{1000}; \qquad P_R = \frac{I_0^2 \cdot R}{1000000}$$

a w układzie podwójnym

$$U = U_0 - \frac{I_0 (R + R')}{1000}; \qquad P'_R = R_R$$

L', L — indukcyjność [H]
C', C — pojemność [μF]
R', R — oporność [Ω]
p_0 — wsp. pulsacji na wejściu filtru [%]
p — wsp. pulsacji na wyjściu filtru [%]
U_0 — napięcie wyprostowane na wejściu filtru [V]
U — napięcie stałe na wyjściu filtru [V]
I — prąd wyprostowany [mA]
C_0 — pojemność kondensatora na wejściu filtru [μF]
P'_R, P_R — moc tracona w opornościach filtru [W]

Tablica 10

Dopuszczalne wartości współczynnika pulsacji *p*

Charakter obciążenia	*p* [%]
Pierwsze stopnie wzmacniaczy mikrofonowych	0,001 – 0,002
Stopnie detekcyjne oraz m. cz.	0,01 – 0,05
Stopnie w. cz. i p. cz., stopnie przemiany	0,02 – 0,1
Stopień końcowy m. cz.	0,1 – 0,5
Stopień końcowy przeciwsobny, stabilizatory, anody kineskopów	0,5 – 2
Wzbudzenie głośników	do 20

Przykład: Układ prostownika pełnookresowego zasila stopień wzmacniacza końcowego m. cz. $U_0 = 300$ V; $I_0 = 100$ mA; $C_0 = 10\,\mu$F. Z tablicy przyjmujemy $p = 0{,}2$. Przy filtrze pojedynczym $LC = \frac{2{,}5 \cdot 10}{0{,}2} = 125$. Wybieramy pojemność 10 μF. Wówczas $L = \frac{125}{10} = 12{,}5$ H. Stąd $U = 0{,}8\ U_0 = 240$ V.

WSPÓŁCZYNNIK FILTRACJI

Napięcie przydźwięku w filtrze rozkłada się na połączone szeregowo R_s i C_s. Napięcie to odprowadzane jest tylko z C_s. Współczynnik filtracji określa stosunek napięcia przydźwięku przed filtrem i po filtrze

$$k_f = \frac{U_1}{U_2} = R_s \cdot \omega \cdot C$$

Dla prostownika półokresowego przy 50 Hz

$$k_f = 0{,}314\ R \cdot C \approx 0{,}3\ R \cdot C$$

Dla prostownika pełnookresowego przy 100 Hz

$$k_f = 0{,}6\ RC \approx 0{,}628 \cdot R \cdot C.$$

Dla filtru LC

$$\text{dla } 50 \text{ Hz}: k_f = 0{,}1\ L \cdot C$$
$$\text{dla } 100 \text{ Hz}: k_f = 0{,}4\ L \cdot C$$

Przykład: Obliczyć pojemność kondensatora filtru RC przy oporności 50 kΩ i współczynniku filtracji 12 oraz 50 Hz

$$C = \frac{k_f}{0{,}3 \cdot R} = \frac{12}{0{,}3 \cdot 50} = 0{,}8\ \mu\text{F}$$

k_f — współczynnik filtracji
U_1 — napięcie przydźwięku na wejściu filtru [V]
U_2 — napięcie przydźwięku na wyjściu filtru [V]
R_s — oporność [Ω]
C — pojemność [F]
L — indukcyjność [H]

DŁAWIK FILTRU

Dławik służy do zmniejszenia tętnień prądu wyprostowanego. Dławik składa się z rdzenia, wykonanego z blachy transformatorowej oraz uzwojenia z izolowanego przewodu miedzianego. W celu uzyskania większej indukcyjności rdzeń dławika ma szczelinę o szerokości 0,2 ... ... 1 mm. W odbiornikach radiowych często zamiast dławika stosuje się uzwojenie magnesujące głośnika elektromagnetycznego.

Obliczenia dławika wykonuje się na podstawie danych wartości indukcyjności, prądu wyprostowanego i szerokości szczeliny.

$$Q_{\dot{z}} = \frac{L \cdot I_0^2}{20\,000\, l}; \quad n = \frac{400\,000\, l}{I_0}; \quad d = 0{,}025 \cdot \sqrt{I_0}$$

$$Q_u = \frac{n \cdot d^2}{100}; \quad R_n = \frac{0{,}0002 \cdot n \cdot l_{\acute{s}r}}{d^2}$$

$$U_n = \frac{R_n \cdot I_0}{1000}$$

$Q_{\dot{z}}$ — powierzchnia przekroju rdzenia dławika [cm²]
L — indukcyjność dławika [H]
I_0 — prąd wyprostowany [mA]
l — całkowita długość szczeliny w rdzeniu [mm]
n — liczba zwojów uzwojenia
d — średnica przewodu uzwojenia [mm]
Q_u — powierzchnia przekroju uzwojenia [cm²]
R_n — oporność przewodu uzwojenia [Ω]
$l_{\acute{s}r}$ — średnia długość zwoju uzwojenia [cm]
U_n — spadek napięcia na uzwojeniu [V]

Przykład

Dane: $L = 12{,}5$ H; $I_0 = 100$ mA; $l = 1$ mm.
Obliczenie:

$$Q_{\dot{z}} = \frac{12{,}5 \cdot 100^2}{20\,000 \cdot 1} = 6 \text{ cm}^2$$

$$n = \frac{400\,000 \cdot 1}{100} = 4000 \text{ zwojów}$$

$$d = 0{,}025 \cdot \sqrt{100} = 0{,}25 \text{ mm}$$

$$Q_u = \frac{4000 \cdot 0{,}25^2}{100} = 2{,}5 \text{ cm}^2$$

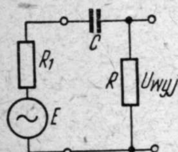
Przy średniej długości zwoju uzwojenia $l_u = 140$ mm

$$R_n = \frac{0{,}0002 \cdot 4000 \cdot 140}{0{,}25^2} = 179\ \Omega$$

$$U_n = \frac{179 \cdot 100}{1000} = 17{,}9 \text{ V}$$

FILTR GÓRNOPRZEPUSTOWY CR

Układ elektryczny, złożony z kondensatora C i opornika R, przepuszczający wszystkie częstotliwości większe niż f_g, a tłumiący wszystkie częstotliwości mniejsze niż f_g.



Rys. 61

$$k_f = \frac{U_{wyj}}{E} = \frac{R}{R + R_1 + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C}}$$

$$f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C(R + R_1)}$$

Jeżeli $R \gg R_1$ i $R \ll \frac{1}{\omega C}$, to

$$s \approx \omega \cdot C \cdot R \text{ i } f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

U_{wyj} — napięcie wyjściowe [V]
E — siła elektromotoryczna źródła [V]
k_f — współczynnik filtracji
R_1 — oporność wewnętrzna źródła [Ω]
R — oporność filtru [Ω]
C — kondensator [F]
f — częstotliwość [Hz]
f_g — częstotliwość graniczna [Hz]
s — współczynnik filtracji

FILTR GÓRNOPRZEPUSTOWY CL

Układ elektryczny, złożony z cewki L i kondensatora C, przepuszczający wszystkie częstotliwości większe niż f_g i tłumiący wszystkie częstotliwości mniejsze niż f_g.

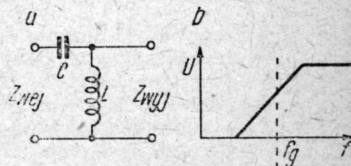
Warunek: $Z_{wej} = Z_{wyj} = Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$

Częstotliwością graniczną jest częstotliwość rezonansowa dla L i C.

$$f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

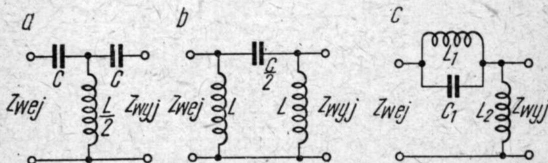
$$L = \frac{Z}{2 \cdot \pi \cdot f_g}$$

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_g \cdot Z}$$



Rys. 62

L — indukcyjność filtru [H]
C — pojemność filtru [F]
f_g — częstotliwość graniczna [Hz]
Z_{wej} — oporność wejściowa [Ω]
Z_{wyj} — oporność wyjściowa [Ω]



Rys. 63

Te same wzory można zastosować do filtru T (rys. 63 *a* i *b*) z dwoma kondensatorami po C faradów i jednej cewce $L/2$ henrów oraz dla filtru typu π z jednym kondensatorem $C/2$ i dwiema cewkami po L [H].

FILTR GÓRNOPRZEPUSTOWY PODWÓJNY

Za pomocą układu podwójnego można uzyskać strome zbocze charakterystyki filtru. Układ złożony z L_1 C_1 (rys. 63*c*) jest nastrojony na częstotliwość f_1, zaś układ C_1 L_2 na częstotliwość f_g. Stosunek $f_1 : f_g$.

dobiera się 0,95 ... 0,8. Jeżeli oporność obciążenia wynosi R, to oporność charakterystyczna $Z = 1,25\ R$. Dla takich warunków:

$$Z = 1,25\ R;, \quad m = \sqrt{1 - \left(\frac{f_1}{f_g}\right)^2}$$

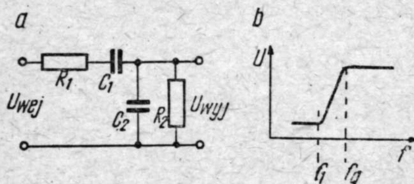
$$C_1 = \frac{1}{m} \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_g \cdot Z}; \quad L_2 = \frac{1}{m} \cdot \frac{Z}{2 \cdot \pi \cdot f_g}$$

$$L_1 = \frac{m}{1 - m^2} \cdot \frac{Z}{2 \cdot \pi \cdot f_g}$$

f_1 — częstotliwość obwodu L_1, C_1 [Hz]
f_g — częstotliwość graniczna [Hz]
L_1, L_2 — indukcyjność [H]
C_1 — pojemność [F]
Z — oporność charakterystyczna filtru [Ω]
R — oporność obciążenia [Ω]

FILTR PASMOWY RC

Układ często stosowany w radiotechnice. Służy do oddzielania składowej prądu zmiennego od składowej prądu stałego, a w niektórych przypadkach do rozdzielania składowych o różnych częstotliwościach



Rys. 64

$$f_{rez} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{R_1 \cdot C_1 \cdot R_2 \cdot C_2}}; \quad \frac{U_{wyj\,max}}{U_{wej}} = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}}$$

Jeżeli $R_1 = R_2 = R$ i $C_1 = C_2 = C$, to charakterystyka rezonansowa będzie podobna do charakterystyki rezonansowej obwodu drgań małej dobroci, którego częstotliwość rezonansowa

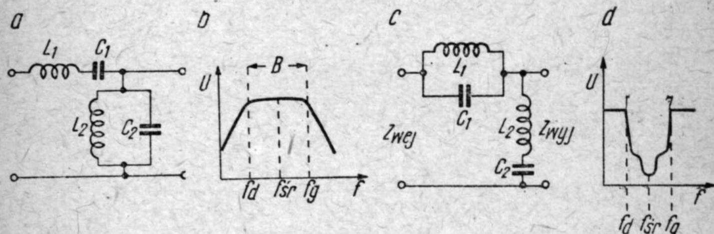
$$f_{rez} = \frac{1}{R \cdot C} \quad \text{a} \quad \frac{U_{wyj\,max}}{U_{wej}} = \frac{1}{3}$$

Ten układ jest stosowany jako sprzężenie zwrotne w generatorach *RC* w mostku Wiena. Zaletą tego układu jest, że częstotliwość nie jest proporcjonalna do $\sqrt{C}$ jak to jest w konwencjonalnym obwodzie drgań, lecz do *C*, co pozwala na uzyskiwanie dużego zakresu lub na zmianę częstotliwości za pomocą zmiany oporności.

f_{rez} – częstotliwość rezonansowa [Hz]
R_1, R_2 – oporności [Ω]
C_1, C_2 – pojemności [F]
U_{wej} – napięcie wejściowe [V]
U_{wyj} – napięcie wyjściowe [V]

FILTR PASMOWY LC

Układ elektryczny, złożony z cewki indukcyjnej *L* i kondensatora *C* (rys. 65*a* i *b*); przepuszczający wszystkie częstotliwości zawierające się między f_d a f_g, a tłumiący wszystkie częstotliwości mniejsze niż f_d i większe niż f_g.



Rys. 65

$$f_{śr} = \frac{1}{2\cdot\pi\cdot\sqrt{L_1\cdot C_1}} = \frac{1}{2\cdot\pi\cdot\sqrt{L_2\cdot C_2}}$$

$$f_{śr} = \sqrt{f_g\cdot f_d}; \qquad B = f_g - f_d$$

$$f_d = \frac{\sqrt{\frac{1}{4\cdot C_2\cdot L_1} + \frac{1}{C_1\cdot L_1} - \frac{1}{2\sqrt{C_2\cdot L_1}}}}{2\cdot\pi}$$

$$f_g = \sqrt{\frac{\frac{1}{4\cdot C_2\cdot L_1} + \frac{1}{C_1\cdot L_1} + \frac{1}{2\cdot C_2\cdot L_1}}{2\cdot\pi}}$$

Jeżeli $Z_{wej} = Z_{wyj} = Z$, to:

$$L_1 = \frac{Z}{2 \cdot \pi \cdot B}; \qquad L_2 = \frac{Z \cdot B}{2 \cdot \pi \cdot f_g \cdot f_d}$$

$$C_1 = \frac{B}{2 \cdot \pi \cdot Z \cdot f_d \cdot f_g}; \qquad C_2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot Z \cdot B}$$

C_1, C_2 — pojemności [F]
L_1, L_2 — indukcyjności [H]
f_d — częstotliwość dolna [Hz]
f_g — częstotliwość górna [Hz]
$f_{śr}$ — częstotliwość średnia [Hz]
B — szerokość pasma przepuszczania [Hz]

FILTR PASMOWY ZAPOROWY LC

Układ elektryczny, złożony z cewki L i kondensatora C, (rys. 65*c* i *d*) przepuszczający wszystkie częstotliwości mniejsze niż f_d i większe niż f_g. Częstotliwości zawarte między tymi wartościami granicznymi są tłumione.

$$f_{śr} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_1 \cdot C_1}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_2 \cdot C_2}}$$

$$f_{śr} = \sqrt{f_g \cdot f_d}$$

$$B = f_g - f_d$$

Wzory na częstotliwości graniczne są takie same jak w filtrze pasmowym LC.
Przy właściwym dopasowaniu

$$L_1 = \frac{B \cdot Z}{2 \cdot \pi \cdot f_d \cdot f_g}; \qquad L_2 = \frac{Z}{2 \cdot \pi \cdot B}$$

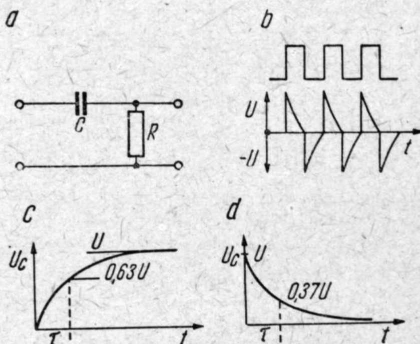
$$C_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot Z \cdot B}; \qquad C_2 = \frac{B}{2 \cdot \pi \cdot Z \cdot f_g \cdot f_d}$$

C_1, C_2 — pojemności [F]
L_1, L_2 — indukcyjności [H]

f_d — częstotliwość dolna filtru [Hz]
f_g — częstotliwość górna filtru [Hz]
$f_{śr}$ — częstotliwość średnia [Hz]
B — szerokość pasma [Hz]

RÓŻNICZKOWANIE IMPULSÓW

Układ służący do tego celu jest filtrem *RC* górnych częstotliwości (rys. 66*a*). Jeżeli do takiego układu doprowadzimy impuls napięcia, to kształt tego napięcia przy założeniu $RC \ll t$ będzie odpowiadał funkcji różniczkowej napięcia wejściowego. Układ służy do otrzymywania krótkotrwałych impulsów (rys. 66*b*).



Rys. 66

$$u = U \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}; \qquad \tau = C \cdot R$$

u — napięcie rozładowania [V]
U — amplituda impulsu [V]
t — czas trwania impulsu [s]
τ — stała czasowa członu *RC* [s]

STAŁA CZASOWA CZŁONU *RC*

Czas ustalania się przebiegu lub stanu równowagi w układzie elektrycznym (rys. 66*c*, *d*).

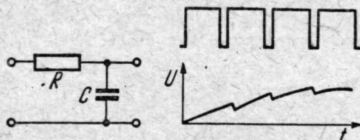
$$\tau = R \cdot C$$

$$R = \frac{\tau}{C}; \qquad C = \frac{\tau}{R}$$

R — oporność [Ω]
C — pojemność [F]
τ — stała czasowa, czas w ciągu którego kondensator naładuje do napięcia wynoszącego 63% napięcia doprowadzonego.

CAŁKOWANIE IMPULSÓW

Układ elektryczny, który tak przekształca impuls napięcia wejściowego, że jego kształt na wyjściu odpowiada funkcji całkowej



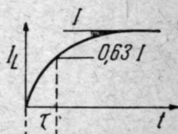
Rys. 67

$$u = U(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}); \qquad \tau = R \cdot C$$

u — napięcie ładowania [V]
U — napięcie impulsu [V]
τ — stała czasowa członu RC [s]
t — czas trwania impulsu [s]

STAŁA CZASOWA CZŁONU *RL*

$$\tau = \frac{L}{R}$$

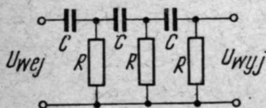


Rys. 68

R — oporność [Ω]
L — indukcyjność [H]
τ — stała czasowa (czas, w ciągu którego prąd osiąga 63% swojej wartości końcowej).

FILTR ŁAŃCUCHOWY POTRÓJNY *CR*

Przy trzech równych ogniwach CR następuje przesunięcie fazy o 180°.



Rys. 69

$$f_{rez} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C \cdot \sqrt{6}}$$

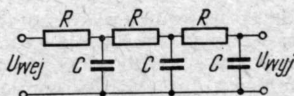
przy czym $\frac{U_{wyj\,max}}{U_{wej}} = -\frac{1}{29}$

Napięcie wyjściowe wynosi 1/29 część napięcia wejściowego.

C — pojemność łańcucha [F]
R — oporność łańcucha [Ω]
U_{wej} — napięcie wejściowe
U_{wyj} — napięcie wyjściowe
$U_{wyj\,max}$ — napięcie wyjściowe dla częstotliwości rezonansowej

FILTR ŁAŃCUCHOWY POTRÓJNY RC

Przy trzech równych ogniwach *RC* następuje również odwrócenie fazy o 180°.



Rys. 70

$$f_{rez} = \frac{\sqrt{6}}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

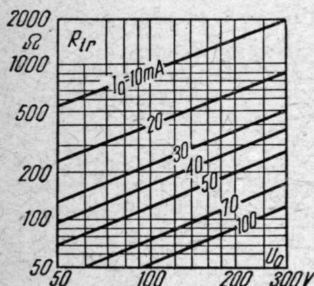
$$\frac{U_{wyj\,max}}{U_{wej}} = -\frac{1}{29}$$

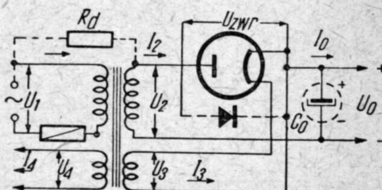
Tutaj również napięcie wyjściowe wynosi 1/29 część napięcia wejściowego, jednakże częstotliwość rezonansowa jest sześciokrotnie większa niż w łańcuchu *CR*.

ZASILACZE

PROSTOWNIK PÓŁOKRESOWY

W najprostszym układzie prostownika wykorzystywana jest tylko jedna połowa okresu prądu zasilającego. Stosuje się go do zasilania tańszych odbiorników małej mocy (10 ... 15 W) oraz innych urządzeń, gdzie dopuszczalna jest stosunkowo duża wartość tętnień. W układzie stosowana jest lampa lub prostownik suchy. Częstotliwość tętnień wynosi 50 Hz.





Rys. 71

$U_{zwr} = 3 \cdot U_0$; $\quad I_{max} = 7 \cdot I_0$; $\quad U_2 = 0{,}75 \cdot U_0 + \frac{I_0(\varrho_a + R_{tr})}{265}$

$$I_2 = 2\, I_0 + \frac{12 \cdot U_0}{\varrho_a + R_{tr}}$$

$$I_1 = \frac{1{,}2\ U_2 \sqrt{I_2^2 - I_0^2}}{U_1}$$

$C_0 = \frac{60 \cdot I_0}{U_0}$; $\quad U_{C0} = 1{,}2 \cdot U_0$; $\quad p_0 = \frac{600\, I_0}{U_0 \cdot C_0}$

$$I_{1w} = I_1 + \frac{I_3 \cdot U_3}{U_1} + \frac{I_4 \cdot U_4}{U_1} + \ldots$$

W układzie bez transformatora sieciowego

przy $U_1 = 110$ V; $R_d = \frac{200(145 - U_0)}{I_0}$

$U_1 = 127$ V; $R_d = \frac{200\,(168 - U_0)}{I_0}$

$U_1 = 220$ V; $R_d = \frac{200\,(290 - U_0)}{I_0}$

$$R_{tr} = \frac{500 \cdot U_0}{I_0 \sqrt[4]{U_0\, I_0}}$$

$$I_1 = 2 \cdot I_0 + \frac{12 \cdot U_0}{\varrho_a + R_d}\,; \qquad P_{Rd} = \frac{I_1^2 \cdot R}{1000000}$$

U_{zwr} — maksymalne dopuszczalne napięcie w kierunku zaporowym lampy [V]
U_0 — napięcie wyprostowane stałe [V]
I_0 — prąd wyprostowany (roboczy) [mA]
I_{max} — maksymalny prąd płynący przez lampę [mA]
U_2 — napięcie na wtórnym uzwojeniu transformatora [V]
I_2 — prąd we wtórnym uzwojeniu transformatora [mA]
I_1 — prąd w pierwotnym uzwojeniu transformatora [mA]
C_0 — pojemność kondensatora prostownika [μF]
U_{C0} — maksymalne napięcie pracy kondensatora [V]
p_0 — współczynnik tętnień [%]
R_d — oporność dodatkowa (zabezpieczająca) [Ω]
P_{Rd} — moc tracona na oporności R_d [W]
ϱ_a — oporność wewnętrzna lampy lub prostownika [kΩ]
I_{1w} — wypadkowy prąd uzwojenia pierwotnego [mA]
R_{Tr} — oporność transformatora [Ω]

Przykład: $U_0 = 250$ V; $I_0 = 50$ mA; $U_1 = 110$ V;

Rozwiązanie:

$$U_{zwr} = 3 \cdot 250 = 750 \text{ V}$$

$$I_{max} = 7 \cdot 50 = 350 \text{ mA}$$

Na podstawie tych danych wybieramy lampę prostowniczą lub prostownik np. o $\varrho_a = 200$ kΩ.

Obliczamy

$$R_{tr} = \frac{500 \cdot 250}{50 \sqrt[4]{250 \cdot 50}} \approx 240\ \Omega$$

$$U_2 = 0{,}75 \cdot 250 + \frac{50\,(200 + 240)}{265} \approx 270\ \text{V}$$

$$I_2 = 2 \cdot 50 + \frac{12 \cdot 250}{200 + 240} \approx 107\ \text{mA}$$

$$I_1 = \frac{1{,}2 \cdot 270 \sqrt{107^2 - 50^2}}{110} \approx 280\ \text{mA}$$

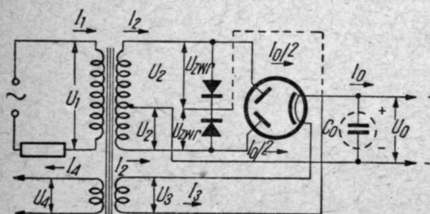
$$C_0 = \frac{60 \cdot 50}{250} = 12\ \mu\text{F}; \qquad U_{C0} = 1{,}2 \cdot 250 = 300\ \text{V}$$

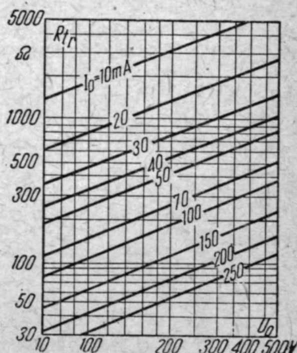
Dla kondensatora elektrolitycznego $C_0 = 10\ \mu\text{F}$, $U_{C0} = 300$ V

$$p_0 = \frac{600 \cdot 50}{250 \cdot 10} = 12\%$$

PROSTOWNIK PEŁNOOKRESOWY Z PUNKTEM ZEROWYM

Jest to najbardziej rozpowszechniony układ prostownika, w którym prostowane są obie połowy prądu zmiennego (obie połowy uzwojenia wtórnego transformatora pracują kolejno). Taki układ zaleca się stosować przy mocy zasilania większej niż 10 ... 15 W. W układzie pro-





Rys. 72

stownika znajduje najczęściej zastosowanie dwuanodowa lampa prostownicza, rzadziej prostowniki selenowe. Częstotliwość pulsacji równa się podwojonej częstotliwości prądu prostowanego, czyli 100 Hz.

$$U_{zwr} = 3 \cdot U_0; \qquad I_{max} = 3{,}5 \cdot I_0$$

$$U_2 = 0{,}75 \cdot U_0 + \frac{I_0 (\varrho_a + R_{tr})}{530}; \qquad I_2 = I_0 + \frac{12\, U_0}{\varrho_a + R_{Tr}}$$

$$I_1 = \frac{1{,}7\, U_2 I_2}{U_1}$$

$$C_0 = \frac{30 \cdot I_0}{U_0}; \qquad U_{C0} = 1{,}2 \cdot U_0; \qquad p_0 = \frac{300 \cdot I_0}{U_0 \cdot C_0}$$

$$R_{tr} = \frac{1000\, U_0}{I_0 \sqrt[4]{U_0 I_0}}$$

U_{zwr} — maksymalne napięcie zwrotne [V]
U_0 — napięcie stałe na wyjściu prostownika [V]
I_0 — prąd stały na wyjściu prostownika [mA]
ϱ_a — oporność wewnętrzna lampy prostowniczej [kΩ]
R_{Tr} — oporność transformatora [Ω]
U_2 — napięcie zmienne na wtórnym uzwojeniu transformatora [V]
I_2 — prąd w uzwojeniu wtórnym transformatora [mA]
I_1 — prąd w uzwojeniu pierwotnym transformatora [mA]
C_0 — pojemność kondensatora prostownika [V]
U_{C0} — maksymalne napięcie pracy kondensatora [V]
p_0 — współczynnik tętnień [%]

Przykład

Dane: $U_0 = 300$ V; $I_0 = 100$ mA; $U_1 = 110$ V

Rozwiązanie:

$$U_{zwr} = 3 \cdot 300 = 900 \text{ V}$$

$$I_{max} = 3 \cdot 5 \cdot 100 = 350 \text{ mA}$$

Dobieramy lampę, np. o $\varrho_a = 150$ kΩ
Z wykresu znajdujemy (lub obliczamy z wzoru)

$$R_{tr} = \frac{1000 \cdot 300}{100 \cdot \sqrt[4]{300 \cdot 100}} = 230\ \Omega$$

$$U_2 = 0{,}75 \cdot 300 + \frac{100\,(150 + 230)}{530} = 297 \text{ V}$$

$$I_2 = 100 + \frac{12 \cdot 300}{150 + 230} = 109 \text{ mA}$$

$$I_1 = \frac{1{,}7 \cdot 297 \cdot 109}{110} = 500 \text{ mA}$$

$$C_0 = \frac{30 \cdot 100}{300} = 10 \, \mu\text{F}$$

$$U_{C0} = 1{,}2 \cdot 300 \doteq 360 \text{ V}$$

Wybieramy kondensator o pojemności 10 μF i napięciu pracy 400 V. W tym przypadku

$$p_0 = \frac{300 \cdot 100}{300 \cdot 10} = 10\%$$

PEŁNOOKRESOWY PROSTOWNIK MOSTKOWY

W tym układzie uzwojenie wtórne transformatora nie ma wyprowadzenia ze środka, a napięcie na tym uzwojeniu powinno być równe napięciu jednej połowy wtórnego uzwojenia prostownika z punktem zerowym. Układ ten jest stosowany najczęściej przy prostowaniu dużych prądów. Elementami prostowniczymi są płytki selenowe. Częstotliwość tętnień równa się w tym przypadku podwójnej częstotliwości prądu prostowanego.

$$U_{zwr} = 1{,}5 \cdot U_0 \, ; \qquad I_{max} = 3{,}5 \cdot I_0 \, ; \qquad R_{tr} = \frac{830 \, U_0}{I_0 \sqrt[4]{U_0 \cdot I_0}}$$

$$U_2 = 0{,}75 \cdot U_0 + \frac{I_0 \, (2\varrho_a + R_{tr})}{530} \, ;$$

$$I_2 = 1{,}41 \cdot I_0 + \frac{16{,}6 \cdot U_0}{2\varrho_a + R_{tr}} \, ; \qquad I_1 = \frac{1{,}2 \cdot U_2 \cdot I_2}{U_1}$$

$$C_0 = \frac{30 \cdot I_0}{U_0} \, ; \qquad U_{C0} = 1{,}2 \cdot U_0 \, ; \qquad p_0 = \frac{300 \cdot I_0}{U_0 \cdot C_0}$$

P r z y k ł a d

Dane: $U_0 = 400$ V; $I_0 = 200$ mA; $U_1 = 220$ V

Rozwiązanie:

$$U_{zwr} = 1{,}5 \cdot 400 = 600 \text{ V}$$

$$I_{max} = 3{,}5 \cdot 200 = 700 \text{ mA}$$

Ponieważ prąd wyprostowany w jednym ramieniu: $\frac{200}{2} = 100$ mA.

$$\varrho_a = 73\ \text{k}\Omega$$

$$R_{tr} = \frac{830 \cdot 400}{200 \sqrt[4]{400 \cdot 200}} = 98\ \Omega$$

Wówczas:

$$U_2 = 0{,}75 \cdot 400 + \frac{200\,(2 \cdot 73 + 98)}{530} = 392\ \text{V}$$

$$I_2 = 1{,}41 \cdot 200 + \frac{16{,}6 \cdot 400}{2 \cdot 73 + 98} = 309\ \text{mA}$$

$$I_1 = \frac{1{,}2 \cdot 392 \cdot 309}{220} = 660\ \text{mA}$$

$$C_0 = \frac{30 \cdot 200}{400} = 15\ \mu\text{F}$$

$$U_{C0} = 1{,}2 \cdot 400 = 480\ \text{V}$$

Dla kondensatora elektrolitycznego 20 μF i $U_{C0} = 500$ V

$$p_0 = \frac{300 \cdot 200}{400 \cdot 20} = 7{,}5\%$$

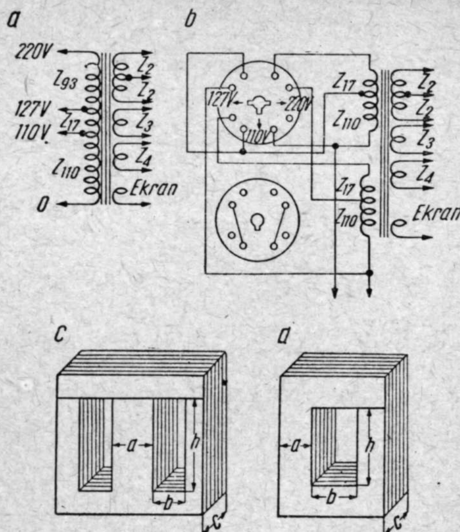
U_0 — napięcie wyprostowane [V]
U_{zwr} — dopuszczalne napięcie zwrotne [V]
I_{max} — maksymalna wartość prądu obciążenia [mA]
R_{tr} — oporność uzwojenia wtórnego transformatora [V]
U_2 — napięcie na uzwojeniu wtórnym transformatora [V]
ϱ_a — oporność wewnętrzna lampy [kΩ]
I_1 — prąd w uzwojeniu pierwotnym transformatora [mA]
C_0 — pojemność kondensatora [μF]
U_{C0} — napięcie maksymalne robocze kondensatora [V]

TRANSFORMATOR SIECIOWY

Transformator sieciowy służy do zamiany napięcia sieci prądu zmiennego (110, 127, 220 V) na napięcie wyższe służące do zasilania (po wyprostowaniu) obwodów anodowych odbiornika oraz na napięcie niższe, służące do zasilania obwodów żarzenia lamp.

Transformator (rys. 73*a*) składa się z rdzenia w kształcie M lub O (rys. 73*c*, *d*) i uzwojeń wykonywanych z przewodu najczęściej emaliowa-

nego. W celu zabezpieczenia się przed zakłóceniami pochodzącymi z sieci między uzwojeniem pierwotnym a wtórnym umieszcza się ekran elektrostatyczny, tak jednak aby nie tworzył on zwartego zwoju.



Rys. 73

Obliczanie transformatora przeprowadza się na podstawie założonych wartości napięć zmiennych oraz prądów w uzwojeniach.

Dla prostownika półokresowego:

$$P = \frac{0{,}95 \cdot U_2 \cdot I_2 + U_3 \cdot I_3 + U_4 \cdot I_4 + \ldots}{1000}$$

Dla prostownika pełnookresowego z punktem zerowym:

$$P = \frac{1{,}7\, U_2 \cdot I_2 + U_3 \cdot I_3 + U_4 \cdot I_4 + \ldots}{1000}$$

Dla układu mostkowego z podwajaniem

$$P = \frac{U_2 \cdot I_2 + U_3 \cdot I_3 + U_4 \cdot I_4 \ldots}{1000}$$

Dla przewodu w emalii:

$$Q_{\dot{z}} \cdot Q_0 = 1{,}6\,P$$

Dla przewodu w emalii i jedwabiu

$$Q_{\dot{z}} \cdot Q_0 = 2{,}1\ P$$

Dla przewodu w podwójnym jedwabiu

$$Q_{\dot{z}} \cdot Q_0 = 2{,}4\ P$$

Stosunek $\frac{a}{c}$ powinien wynosić 1 ... 2.

$$z_1 = \frac{48 \cdot U_1}{Q_{\dot{z}}}; \qquad z_2 = \frac{54 \cdot U_2}{Q_{\dot{z}}}; \qquad z_3 = \frac{54 \cdot U_3}{Q_{\dot{z}}}$$

$$z_4 = \frac{54 \cdot U_4}{Q_{\dot{z}}} \text{ itd.}$$

$$d_1 = 0{,}02\sqrt{I_1}; \qquad d_2 = 0{,}02\sqrt{I_2}; \qquad d_3 = 0{,}02\sqrt{I_3} \text{ itd.}$$

Dla uzwojenia pierwotnego z odczepami

$$z_{110} = \frac{5200}{Q_{\dot{z}}}; \qquad z_{17} = \frac{816}{Q_{\dot{z}}}; \qquad z_{93} = \frac{4464}{Q_{\dot{z}}}$$

$$d_{110} = d_{17} = 0{,}7\sqrt{\frac{P}{U_{110}}}; \qquad d_{93} = 0{,}7\sqrt{\frac{P}{U_{220}}}$$

P — moc przenoszona przez transformator [VA]
a — szerokość rdzenia [cm]
c — grubość rdzenia [cm]
$Q_{\dot{z}}$ — powierzchnia przekroju rdzenia $(a \cdot c)$ [cm^2]
b — szerokość okna rdzenia [cm]
h — wysokość okna rdzenia [cm]
Q_0 — powierzchnia przekroju okna rdzenia [cm^2]
U_1, U_2, U_3, U_4 — napięcia poszczególnych uzwojeń [V]
z_1, z_2, z_3, z_4 — liczby zwojów uzwojeń
I_1, I_2, I_3, I_4 — prądy poszczególnych uzwojeń [mA]
d_1, d_2, d_3, d_4 — średnice przewodów uzwojeń [mm]

Przykład

Dane: Układ pełnookresowy z punktem zerowym. $U_1 = 110$ V, $U_2 = 297$ V, $U_3 = 5$ V, $U_4 = 6{,}3$ V, $I_1 = 705$ mA, $I_2 = 109$ mA, $I_3 = 2000$ mA, $I_4 = 2000$ mA.

Obliczenia:

$$P = \frac{1{,}7 \cdot 297 \cdot 109 + 5 \cdot 2000 + 6{,}3 \cdot 2000}{1000} = 77{,}6 \text{ VA}$$

$$Q_{\dot{z}} \cdot Q_0 = 1{,}6 \cdot 77{,}6 = 124 \text{ cm}^2$$

Wybieramy rdzeń o $Q_0 = b \cdot h = 2{,}5 \cdot 6$, wówczas otrzymamy

$$Q_{\dot{z}} = \frac{124}{2{,}5 \cdot 6} = 9{,}3 \text{ cm}^2 \quad \text{i} \quad c = \frac{8{,}3}{2{,}5} = 3{,}3 \text{ cm}$$

$$z_1 = \frac{48 \cdot 110}{8{,}3} = 638 \text{ zwojów}; \quad z_2 = \frac{54 \cdot 297}{8{,}3} = 1940 \text{ zwojów}$$

$$z_3 = \frac{54 \cdot 5}{8{,}3} = 33 \text{ zwojów}; \quad z_4 = \frac{54 \cdot 6{,}3}{8{,}3} = 41 \text{ zwojów}$$

$$d_1 = 0{,}02 \cdot \sqrt{705} = 0{,}53 \text{ mm}; \quad d_2 = 0{,}02 \cdot \sqrt{109} = 0{,}2 \text{ mm}$$

$$d_3 = 0{,}02 \cdot \sqrt{2000} = 0{,}9 \text{ mm}; \quad d_4 = 0{,}02 \cdot \sqrt{2000} = 0{,}9 \text{ mm}$$

KONDENSATOR FILTRU SIECIOWEGO

$$C = k\frac{I}{U_p}; \quad U_p = k\frac{I}{C}$$

Przy 50 Hz

Prostownik lampowy półokresowy	$k = 4$
Prostownik selenowy półokresowy	$k = 4{,}8$
Prostownik lampowy pełnookresowy	$k = 1{,}5$
Prostownik selenowy pełnookresowy	$k = 1{,}8$

C — kondensator [μF]
U_p — napięcie przydźwięku [V]
k — współczynnik zależny od układu
I — pobierany prąd [mA].

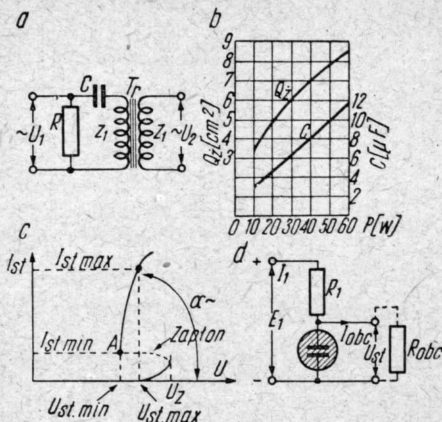
STABILIZATOR NAPIĘCIA

Stabilizatory napięcia służą do utrzymania stałego (w pewnych granicach) napięcia na wejściu urządzenia zasilającego. Stosowane są stabilizatory ferrorezonansowe, gazowe i elektroniczne.

Na rysunku 74*a* przedstawiony jest prosty układ ferrorezonansowego stabilizatora napięcia zmiennego.

Powierzchnię przekroju rdzenia $Q_ż$ transformatora Tr oraz pojemność kondensatora C oblicza się z wykresu przedstawionego na rysunku 74*b*, zależnie od mocy P transformatora (dla stałego obciążenia).

Oporność R można obrać w granicach 30 ... 500 kΩ.



Rys. 74

Liczba zwojów uzwojenia pierwotnego:

$$z_1 = \frac{40 \cdot U_1}{Q_ż}$$

Średnica przewodu tego uzwojenia

$$d_1 = 0{,}9 \sqrt{\frac{P}{U_1}}$$

Liczba zwojów uzwojenia wtórnego

$$z_2 = \frac{30 \cdot U_2}{Q_ż}$$

Średnica przewodu tego uzwojenia

$$d_2 = 0{,}8 \sqrt{I_2}$$

Przykład

Dane: $P = 20$ W, $U_1 = 110$ V, $U_2 = 200$ V, $I_2 = 0{,}1$ A.

Obliczenie:

z wykresu znajdujemy

$$Q_{\dot{z}} = 5 \text{ cm}^2, \quad C = 5 \ \mu F$$

Następnie obliczamy

$$z_1 = \frac{40 \cdot 110}{5} = 880 \text{ zwojów}$$

$$d_1 = 0{,}9 \sqrt{\frac{20}{110}} = 0{,}38 \text{ mm}$$

$$z_2 = \frac{30 \cdot 200}{5} = 1200 \text{ zwojów}$$

$$d_2 = 0{,}8 \sqrt{0{,}1} = 0{,}25 \text{ mm}$$

STABILIZATOR Z NEONÓWKĄ

Neonówka składa się z bańki wypełnionej gazem szlachetnym, w której umieszczone są dwie elektrody. Gdy różnica napięć doprowadzonych do elektrod przekroczy określoną wartość, tzw. napięcie zapłonu U_z, nastąpi jonizacja gazu i przez lampę popłynie duży prąd. W celu ograniczenia wartości natężenienia prądu w obwód zewnętrzny włącza się opornik R. Bez opornika R neonówka uległaby zniszczeniu. Przy włączonym oporniku R spadek napięcia na neonówce bardzo mało zależy od wartości prądu (w obszarze $A - I_{stab\ max}$) (rys. 74*c*, *d*).

E_1 powinno być o 30 ... 50% większe niż U_z

R_1 określa się z zależności

$$R_1 = \frac{E_1 - U_{st}}{I_1}$$

Działanie stabilizujące określa wartość oporności dynamicznej

$$R_d = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{U_{st\ max} - U_{st\ min}}{I_{st\ max} - I_{st\ min}} = \frac{\Delta U_{st}}{\Delta I_{st}}$$

Zazwyczaj $R_d = 100 \ldots 200\ \Omega$.

Stosunek $\frac{R_1}{R_d}$ nazywa się współczynnikiem stabilizacji

$$k_{st} = \frac{R_1}{R_d}$$

Przykład: Obliczyć R_1 oraz określić współczynnik stabilizacji układu z neonówką (rys. 74) zasilającego siatki ekranujące lamp. Prąd pobierany $I_{obc} = 12$ mA, $E_1 = 250$ V; $U_{st} = 105$ V, $R_d = 100\ \Omega$, $I_{st\,min} = 5$ mA, $I_{st\,max} = 30$ mA

$$I_{st} = \frac{I_{st\ max} - I_{st\ min}}{2} = 18\ \text{mA}$$

$$I_1 = 12 + 18 = 30\ \text{mA}$$

$$R_1 = \frac{250 - 105}{30} = 4{,}8\ \text{k}\Omega$$

$$k_{st} = \frac{4{,}7}{0{,}1} = 47$$

KONDENSATOR W OBWODZIE ŻARZENIA LAMP

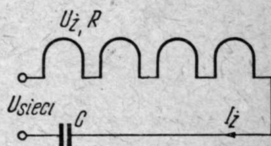
Do obwodu żarzenia lamp zasilanych bezpośrednio z sieci prądu zmiennego można zamiast opornika zastosować kondensator o odpowiedniej pojemności włączony szeregowo (rys. 75).

Przy zasilaniu z sieci o częstotliwości 50 Hz

$$R = \frac{U_{ż}}{I_{ż}}; \qquad Z = \frac{U}{I_{ż}}$$

$$X_C = \sqrt{Z^2 - R^2}; \qquad C = \frac{10^6}{\omega \cdot X_C}$$

$$C = \frac{3180}{\sqrt{Z^2 - R^2}}; \qquad C = \frac{3\,180\, I_{ż}}{\sqrt{U^2 - U_{ż}^2}}$$



Rys. 75

gdzie:

Z — oporność pozorna obwodu żarzenia [Ω]
R — oporność czynna obwodu żarzenia [Ω]
$U_{ż}$ — sumaryczne napięcie żarzenia lamp [V]
$I_{ż}$ — prąd żarzenia [A]
U — napięcie sieci zasilającej [V]
C — pojemność kondensatora [μF]

DŁAWIK MAŁEJ CZĘSTOTLIWOŚCI

Dławik m. cz. służy w filtrze do zmniejszenia składowej zmiennej prądu wyprostowanego.

$$L = n^2 \cdot \frac{1{,}26 \cdot 10^{-8} \cdot Q_{ż} \cdot \mu}{l}$$

$$d = s + 1{,}1 \cdot \frac{l}{\mu}; \qquad L = n^2 \cdot \frac{1{,}26 \cdot Q_{\dot{z}} \cdot 10^{-8}}{d}$$

$$n = \sqrt{\frac{L \cdot d \cdot 10^8}{1{,}26 \cdot Q_{\dot{z}}}}$$

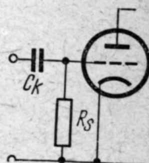
n — liczba zwojów
L — indukcyjność [H]
$Q_{\dot{z}}$ — przekrój żelaza [cm²]
s — szczelina powietrzna [cm]
l — długość linii sił w żelazie [cm]
μ — przenikalność magnetyczna względna
d — zredukowana długość linii sił [cm]

DOLNA CZĘSTOTLIWOŚĆ GRANICZNA PRZY SPRZĘŻENIU *RC*

$$f_d = \frac{159\,000}{C_k \cdot R_s} \quad [\text{Hz, pF, M}\Omega]$$

$$f_d = \frac{159}{C_k \cdot R_s} \quad [\text{Hz, nF, M}\Omega]$$

$$C_k = \frac{159}{f_d \cdot R_s} \quad [\text{Hz, nF, M}\Omega]$$



Rys. 76

f_d — dolna częstotliwość graniczna (spadek do 70% wartości napięcia)
C_k — kondensator sprzęgający
R_s — oporność upływowa siatki

WSPÓŁCZYNNIK ZAWARTOŚCI HARMONICZNYCH

$$h = \frac{\sqrt{A_2^2 + A_3^2 + A_4^2 + \ldots + A_n^2}}{\sqrt{A_1^2 + A_2^2 + A_3^2 + \ldots A_n^2}} \cdot 100\ [\%]$$

A_1 — amplituda podstawowej harmonicznej
$A_2, A_3 \ldots A_n$ — amplitudy kolejnych harmonicznych
h — współczynnik zawartości harmonicznych

OPORNOŚĆ ANODOWA LAMP

Dopasowanie do triody końcowej:

$$R_a = (2 \ldots 3)\, \varrho_a$$

Dopasowanie do pentody końcowej:

$$R_a = (0{,}1 \ldots 0{,}2)\, \varrho_a$$

lub

$$R_a \approx \frac{U_a}{I_a}$$

U_a — napięcie anodowe stałe
I_a — prąd anodowy stały
ϱ_a — oporność wewnętrzna lampy

DOPASOWANIE GŁOŚNIKA

Głośnik pojedynczy (rys. 77*a*)

$$u_a = \sqrt{P \cdot R_a} = \frac{P}{i_a}; \qquad u_g = \sqrt{P \cdot Z_g} = \frac{P}{i_g}$$

$$p = \frac{n_1}{n_2} = \frac{u_a}{u_g} = \sqrt{\frac{R_a}{Z_g}} = \frac{i_g}{i_a}$$

$$Z_g = \frac{R_a}{p^2}; \qquad R_a = p^2 \cdot Z_g; \qquad n_1 = n_2 \cdot p; \qquad n_2 = \frac{n_1}{p}$$

$$u_a = u_g \cdot p; \qquad u_g = \frac{u_a}{p}; \qquad i_a = \frac{i_g}{p} = \frac{P}{u_a} = \sqrt{\frac{P}{R_a}}$$

$$i_g = i_a \cdot p = \frac{P}{u_g} = \sqrt{\frac{P}{Z_g}}$$

Dla głośności w pomieszczeniach $P = 50$ mW.

$$u_a = \sqrt{0{,}05 \cdot R_a}; \qquad u_g = \sqrt{0{,}05 \cdot Z_g}$$

p — przekładnia transformatora
P — moc akustyczna [W]
R_a — oporność obciążenia lampy końcowej [Ω]
Z_g — oporność pozorna cewki przy 1000 Hz [Ω]
n_1 — liczba zwojów uzwojenia pierwotnego
n_2 — liczba zwojów uzwojenia wtórnego
u_a — napięcie anodowe zmienne [V]
u_g — napięcie na cewce drgającej [V]
i_a — zmienny prąd anodowy [A]
i_g — prąd w cewce drgającej [A]

IMPEDANCJA (OPORNOŚĆ POZORNA) CEWKI DRGAJĄCEJ GŁOŚNIKA

Aby określić przekładnię transformatora głośnikowego należy znać wartość impedancji (Z_g) cewki drgającej głośnika oraz właściwą oporność dopasowania używanej lampy elektronowej. Aby otrzymać wartość oporności pozornej należałoby zmierzyć przy 800 Hz oporność czynną cewki R_g oraz jej oporność indukcyjną X_g. Wówczas:

$$Z_g = \sqrt{R_g^2 + X_g^2}$$

Zamiast tych pomiarów można stosować z wystarczającą dokładnością wzór:

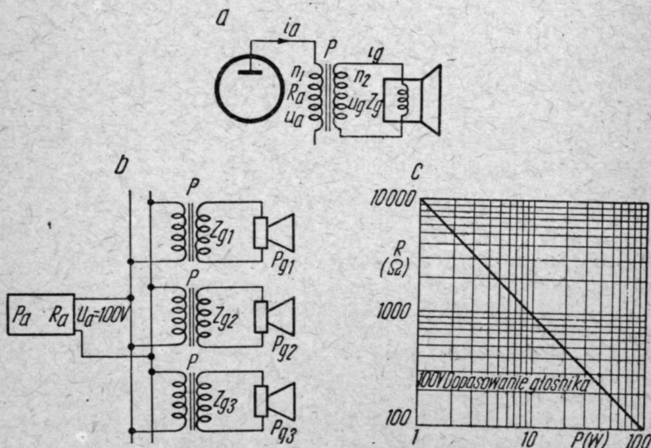
$$Z_g \approx 1{,}25\ R_g$$

Doświadczenie wykazuje, że podany wzór jest dla praktyki wystarczająco dokładny.

DOPASOWANIE GŁOŚNIKÓW WE WZMACNIACZACH MOCY (rys. 77 b, c)

$$u_g = \sqrt{P_g \cdot Z_g}$$

$$p = \frac{100}{\sqrt{P_g \cdot Z_g}} = \frac{u_a}{u_g} = \frac{n_1}{n_2}$$



Rys. 77

$$R_{wyj} = \frac{u_a^2}{P_a}; \qquad P_a \cdot R_{wyj} = 10\,000$$

$$n_2 = \frac{n_1}{p}; \qquad \frac{\sqrt{P_g \cdot Z_g}}{100} = \frac{n_1 \cdot u_g}{100}$$

u_a — 100 V
P_a — moc wzmacniacza [W]
P_g — moc szczególnego głośnika [W]
R_{wyj} — oporność wyjściowa wzmacniacza [Ω]
Z_g — oporność pozorna cewki drgającej [Ω]
n_1 — liczba zwojów uzwojenia pierwotnego
n_2 — liczba zwojów uzwojenia wtórnego
p — przekładnia transformatora
u_g — napięcie na cewce drgającej głośnika [V]
R_g — oporność dla prądu stałego cewki głośnika [Ω]

TRANSFORMATOR WYJŚCIOWY

Układ elektryczny złożony z rdzenia i uzwojeń i służący do dopasowania oporności wyjściowej lampy końcowej do oporności głośnika w celu przeniesienia maksymalnej mocy przy dopuszczalnym poziomie zniekształceń.

$$n = \sqrt{\frac{R_{obc}}{R_{gł}}}; \qquad L_1 \approx 0{,}2\sqrt{\frac{R_{obc}}{f_d}}; \qquad Q_ż = \frac{I_{a0}^2 L_1}{5000}$$

Średnia długość magnetycznej linii sił l w cm nie powinna być mniejsza niż wartość $Q_ż$

$$\delta = \frac{I_{a0}\, z_1}{14 \cdot 10^5}; \qquad z_1 = 600\sqrt{\frac{L_1 l}{Q_ż}}; \qquad b = 1{,}1\frac{Q_ż}{a}$$

$$d_1 = 1{,}13\sqrt{\frac{I_{a0}}{\varrho \cdot 1000}}; \qquad z_2 = \frac{z_1}{n}; \qquad d_2 = d_1\sqrt{n}$$

Przykład: $L_1 = 16$ H; $n = 45$; $I_{a0} = 48$ mA.

$$Q_ż = \frac{48^2 \cdot 16}{5000} = 7{,}4\ \text{cm}^2$$

Dobieramy rdzeń o wymiarach $a = 2{,}5$ cm, $l = 21{,}4$ cm, wówczas

$$b = 1{,}1\frac{7{,}4}{2{,}5} \approx 3{,}2\ \text{cm}$$

$$z_1 = 600\sqrt{\frac{16 \cdot 21{,}4}{7{,}4}} = 4100\ \text{zwojów}$$

$$d_1 = 1{,}13\sqrt{\frac{48}{2{,}5\cdot 1000}} = 0{,}15\ \text{mm}; \qquad z_2 = \frac{4100}{45} = 91$$

$$d_2 = 0{,}15\sqrt{45} = 1\ \text{mm}; \qquad \delta = \frac{48\cdot 4100}{14\cdot 10^5} = 0{,}14\ \text{mm}$$

n — przekładnia
R_{obc} — obciążenie lampy [Ω]
R_{gl} — oporność głośnika dla prądu zmiennego [Ω]
L_1 — indukcyjność uzwojenia pierwotnego [H]
f_d — dolna częstotliwość graniczna [Hz]
$Q_ż$ — powierzchnia przekroju poprzecznego rdzenia transformatora [cm]
I_{a0} — średnia wartość prądu anodowego lampy [mA]
δ — szczelina [mm]
z_1, z_2 — liczba zwojów uzwojenia pierwotnego i wtórnego
b — grubość rdzenia [cm]
a — szerokość części środkowej jarzma transformatora [cm]
d_1, d_2 — średnica przewodu uzwojenia pierwotnego i wtórnego [mm]
ϱ — gęstość prądu 2 ... 2,5 [A/mm]
z_2 — liczba zwojów uzwojenia wtórnego

(dla układów przeciwsobnych, bez magnesowania wstępnego)

$$n_1 \approx \frac{\sqrt{P\cdot r_a}\cdot 10^8}{4{,}44\cdot B\cdot f_d\cdot Q_ż}$$

$$n_1 \approx 90\cdot\frac{\sqrt{P\cdot r_a}}{Q_ż} \quad \text{przy } f_d = 50\ \text{Hz i } B = 5000\ \text{gausów}$$

(dla układów z magnesowaniem wstępnym)

$$L_1 \approx (0{,}16 \ldots 0{,}2)\frac{r_a}{f_d} \quad \text{przy } f_d = 50\ \text{Hz} \quad L_1 \approx 0{,}004\cdot r_a$$

$$\delta \approx 0{,}4\sqrt{Q_ż}$$

$$\text{przy } f_d = 50\ \text{Hz} \qquad n_1 \approx 200\,\frac{\sqrt{r_a\cdot\delta}}{Q_ż}$$

$$n_1 \approx 3200\sqrt{\frac{L_1\cdot\delta}{Q_ż}}$$

P — moc znamionowa [W]
$Q_ż$ — powierzchnia przekroju rdzenia [cm²]
f_d — dolna częstotliwość graniczna [Hz]

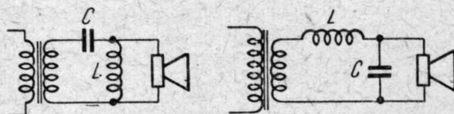
n_1 – liczba zwojów uzwojenia pierwotnego
r_d – oporność dopasowująca [Ω]
B – indukcja magnetyczna [Gs]
L_1 – indukcyjność uzwojenia pierwotnego [H]
δ – długość całkowita szczeliny [mm]

FILTRY GÓRNOPRZEPUSTOWY I DOLNOPRZEPUSTOWY GŁOŚNIKA

$$X_L = X_C = Z_g \cdot \sqrt{2}$$

$$L = \frac{Z_g \cdot \sqrt{2}}{2 \cdot \pi \cdot f} \qquad L = 0{,}225 \frac{Z_g}{f}$$

$$C = \frac{10^6}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot Z_g \cdot \sqrt{2}} = \frac{112\,000}{f \cdot Z_g}$$



Rys. 78

Dla częstotliwości granicznej 1000 Hz:

$$L = 0{,}225 \cdot Z_g \cdot 10^{-3}; \qquad C = \frac{112}{Z_g}$$

Z_g – oporność pozorna (impedancja) głośnika [Ω]
f – częstotliwość graniczna [Hz]
L – indukcyjność [H]
C – pojemność [μF]

AKUSTYKA

Ciśnienie akustyczne $p = v \cdot z$

Prędkość dźwięku $v = \frac{p}{z}$

Oporność akustyczna falowa $z = \frac{p}{v}$

Natężenie dźwięku $I = p \cdot v \cdot \cos \varphi$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\lambda}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

Oporność akustyczna $Z_{ak} = \frac{p}{v \cdot S}$

Moc akustyczna $P_{ak} = I \cdot S$

Prędkość dźwięku:

w gazach $c = \sqrt{\frac{\varkappa \cdot P_0}{\varrho_0}}$

w cieczach $c = \sqrt{\frac{1}{k \cdot \varrho_0}}$

w ciałach stałych $c = \sqrt{\frac{E}{\varrho_0}}$

p — ciśnienie akustyczne [μbar]
v — prędkość dźwięku [cm/s]
z — akustyczna oporność falowa $\left[\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^2\ \mathrm{s}}\right]$
r — odległość od źródła dźwięku [m]
φ — kąt fazowy między p i v
I — natężenie dźwięku 10^{-7} [W/cm²]
P_{ak} — moc akustyczna [W]

S — powierzchnia strumienia dźwięku [cm^2]

Z_{ak} — oporność akustyczna $\left[\frac{g}{cm^4 \cdot s}\right]$

λ — długość fali [m]

c — prędkość dźwięku [cm/s]

P_0 — ciśnienie gazu [μbar]

E — moduł elastyczności $\left[\frac{g}{cm \cdot s^2}\right]$

ϱ_0 — średnia gęstość [g/cm^3]

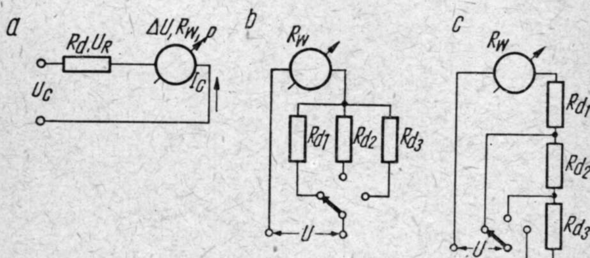
k — odwrotność modułu ściśliwości cieczy [dyn/cm^2]

$\varkappa = \frac{C_p}{C_v}$ — stosunek ciepła właściwego przy stałym ciśnieniu do ciepła właściwego przy stałej objętości

MIERNICTWO

ROZSZERZENIE ZAKRESU POMIAROWEGO NAPIĘCIA

W celu rozszerzenia zakresu pomiarowego napięcia w mierniku włącza się oporność szeregową (rys. 79*a*), której wartość zależy od oporności wewnętrznej R_w miernika oraz od nowego zakresu pomiarowego I_c.



Rys. 79

$$R_w = \frac{\Delta U}{I_c}; \qquad I_c = \frac{\Delta U}{R_w}; \qquad \Delta U = I_c \cdot R_w$$

$$R_w = p \cdot \Delta U; \qquad I_c = \frac{1}{p}; \qquad \Delta U = \frac{R_w}{p}$$

$$p = \frac{R_w}{\Delta U} = \frac{1}{U_c} = \frac{R_c}{U_c}$$

$$U_c = R_c \cdot I_c = \frac{R_c}{P} = U_R + \Delta U$$

$$R_c = \frac{U_c}{I_c} = U_c \cdot p = R_d + R_w$$

$$U_R = R_d \cdot I_c = U_c - \Delta U = \frac{R_d}{p}$$

$$R_d = \frac{U_R}{I_c} = R_c - R_w = \frac{U_c - \Delta U}{I_c} = p \cdot U_c - R_w = \frac{U_c}{I_c} - R_w$$

$$n = \frac{U_c}{\Delta U}; \qquad U_c = \Delta U \frac{R_w + R_d}{R_w}; \qquad R_d = p\,(U_c - \Delta U)$$

$$R_d = (n - 1)\,R_w$$

ΔU — napięcie na systemie pomiarowym przy pełnym wychyleniu [V]
I_c — prąd płynący przez system pomiarowy przy pełnym wychyleniu [A]
R_w — oporność wewnętrzna systemu pomiarowego [Ω]
R_d — oporność dodatkowa [Ω]
U_R — napięcie na oporności dodatkowej [V]
U_c — napięcie całkowite odpowiadające żądanemu zakresowi pomiarowemu [V]
R_c — oporność całkowita (obciążenie mierzonego napięcia)
p — czułość [Ω/V]
n — współczynnik zwielokrotnienia.

Przykład

Dane: $R_w = 1000\ \Omega$; $\Delta U = 5$ V; $U_c = 250$ V

Obliczenie: $R_d = 1000\left(\frac{250}{5} - 1\right) = 49\,000\ \Omega$

Jeżeli przyrząd ma mieć kilka zakresów pomiarowych, to stosuje się kilka oporności dodatkowych (rys. 79*b* i *c*).

ROZSZERZENIE ZAKRESU POMIAROWEGO PRĄDU

W celu rozszerzenia zakresu pomiarowego stosuje się bocznik R_b, oporność którego zależy od oporności wewnętrznej przyrządu R_w oraz od nowego zakresu pomiarowego I_c (rys. 80*a*)

$$R_w = \frac{\Delta U}{I_p} = p \cdot \Delta U; \qquad I_p = \frac{\Delta U}{R_w} = \frac{1}{p}$$

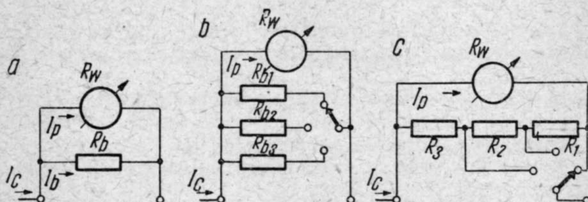
$$\Delta U = I_p \cdot R_w = \frac{R_w}{p}; \qquad p = \frac{R_w}{\Delta U} = \frac{1}{I_p}$$

$$I_c = \frac{\Delta U}{R_c} = I_p + I_b = I_p \frac{R_w + R_b}{R_b}; \qquad R_c = \frac{\Delta U}{I_c} = \frac{R_b \cdot R_w}{R_b + R_w}$$

$$I_b = \frac{\Delta U}{R_b} = I_c - I_p = I_c - \frac{1}{p} = \Delta U \left[\frac{1}{R_c} - \frac{1}{R_w}\right]$$

$$R_b = \frac{\Delta U}{I_b} = \frac{R_w \cdot R_c}{R_w - R_c} = \frac{\Delta U}{I_c - I_p}$$

$$R_b = \frac{R_w}{n - 1}$$



Rys. 80

I_b — prąd płynący przez bocznik [A]
I_c — prąd całkowity odpowiadający żądanemu zakresowi pomiarowemu [A]
R_b — oporność bocznika [Ω]
ΔU — napięcie na systemie pomiarowym przy pełnym wychyleniu [V]
I_p — prąd płynący przez system pomiarowy przy pełnym wychyleniu [A]
R_w — oporność wewnętrzna systemu pomiarowego [Ω]
p — czułość [Ω/V]
R_c — oporność całkowita [Ω]
n — współczynnik zwielokrotnienia

Przykład

Dane: $R_w = 20\ \Omega$, $I_p = 10$ mA, $I_c = 50$ mA

Obliczenie: $R_b = 20 \dfrac{10}{50 - 10} = 5\ \Omega$

Jeżeli przyrząd powinien mieć kilka zakresów pomiarowych, to stosuje się kilka boczników (rys. 80*b* i *c*), a każdy bocznik oblicza się na podstawie podanych wzorów.

OPORNOŚĆ WEWNĘTRZNA MIERNIKA

Oporność wewnętrzna miernika obejmuje oporność cewek miernika oraz oporność dodatkową rozszerzającą zakres pomiarowy dla danej skali. Na różnych zakresach oporność wewnętrzna miernika jest różna

i zależna od wartości oporności dodatkowej. Dlatego też oporność wewnętrzną miernika określa się wartością oporności przypadającej na jeden wolt skali (R'_w).

Wartość oporności $R'_w = \frac{1000}{I_p}$

gdzie:

I_p — prąd w miliamperach, przy którym wskazówka miernika odchyla się do końca skali.

Przykład

Dane: $I_p = 0{,}5$ mA

Obliczenie:

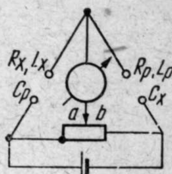
$$R_w = \frac{1000}{0{,}5} = 2000\ [\Omega/V]$$

POMIARY MOSTKIEM

$$R_x = R_p \frac{a}{b}\ ; \qquad L_x = L_p \frac{a}{b}\ ; \qquad C_x = C_p \frac{a}{b}$$

Warunek zestrojenia mostka $\frac{R_x}{R_p} = \frac{a}{b}$.

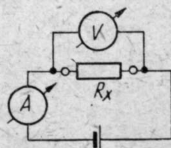
R_x — mierzona wartość oporności
C_x — mierzona wartość pojemności
L_x — mierzona wartość indukcyjności
R_p — oporność porównawcza
C_p — pojemność porównawcza
L_p — indukcyjność porównawcza
a — lewa część oporności
b — prawa część oporności



Rys. 81

POMIARY OPORNOŚCI

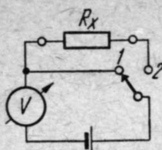
1. Pomiar za pomocą woltomierza i amperomierza (rys. 82)



Rys. 82

$$R_x = \frac{U}{I}$$

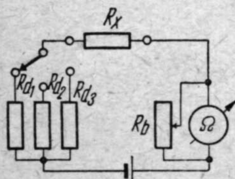
2. Pomiar za pomocą woltomierza (rys. 83)



Rys. 83

$$R_x = R_w \frac{U_0 - U_x}{U_x}$$

3. Pomiar za pomocą omomierza (rys. 84)



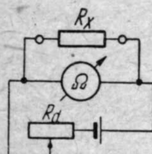
Rys. 84

a)

$$R_x = R_0 \frac{I_0 - I_x}{I_x}$$

gdzie

$$R_0 = R_d + \frac{R_w \cdot R_b}{R_w + R_b}$$

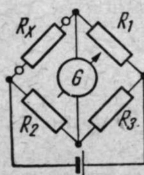


Rys. 85

b) (rys. 85)

$$R_x = R_w \frac{I_x}{I_0 - I_x}$$

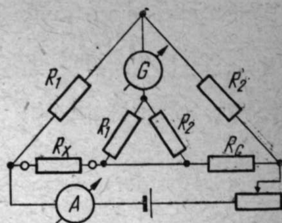
4. Mostek (rys. 86)



Rys. 86

$$R_x = R_1 \cdot \frac{R_2}{R_3}$$

5. Mostek podwójny (rys. 87)



Rys. 87

$$R_x = R_c \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

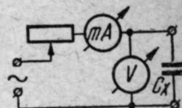
U – napięcie [V]
I – prąd [A]
R_w – opcrność wewnętrzna [Ω]
R_b – oporność bocznika [Ω]
U_0 – napięcie mierzone w położeniu *1* [V]

POMIAR POJEMNOŚCI

Pomiar dużych wartości odbywa się na częstotliwości 50 Hz. Woltomierz powinien mieć dużą oporność wewnętrzną.

1. Pomiar za pomocą woltomierza i amperomierza (rys. 88)

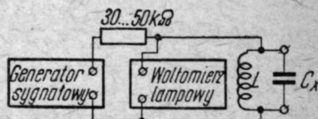
$$C_x = \frac{160 \cdot I}{f \cdot U}$$



Rys. 88

2. Metoda rezonansowa (rys. 89)

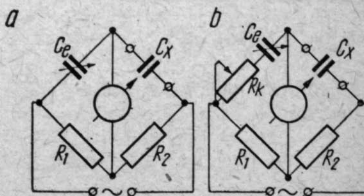
$$C_x = \frac{2 \cdot 53 \cdot 10^{10}}{f^2 \cdot L}$$



Rys. 89

3. Metoda mostkowa (rys. 90)

$$C_x = C_e \frac{R_1}{R_2}$$

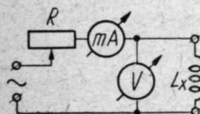


Rys. 90

Układ *a* dla kondensatorów z małymi stratami.
Układ *b* dla kondensatorów z dużymi stratami.
R_k – oporność kompensująca przesunięcie faz.

POMIAR INDUKCYJNOŚCI

1. Metoda woltomierza i amperomierza (rys. 91). Stosuje się ją do pomiarów dużych wartości indukcyjności.



Rys. 91

Jeżeli

$R \ll X_L$, to

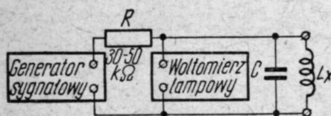
$$L_x = \frac{U}{6{,}28 \cdot f \cdot I} \quad [\text{H, V, Hz, A}]$$

Jeżeli $R \approx X_L$, to

$$L = \frac{\sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - R}}{6{,}28 \cdot f} \quad [\text{H, V, A, }\Omega\text{, Hz}]$$

2. Metoda rezonansowa (rys. 92). Stosuje się do pomiaru cewek w. cz.

Przy rezonansie



Rys. 92

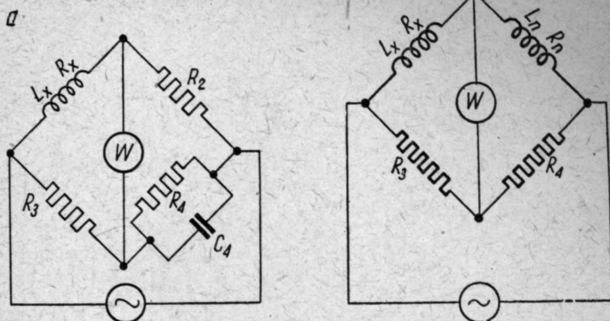
$$L = \frac{2{,}53 \cdot 10^4}{f^2 \cdot C} \quad [\mu\text{H, kHz, }\mu\text{F}]$$

$$L = \frac{2{,}53 \cdot 10^{10}}{f^2 \cdot C} \quad [\mu\text{H, kHz, pF}]$$

Pojemność własną cewki C_0 można zmierzyć, mierząc dwukrotnie indukcyjność przy różnych pojemnościach C (C_1 i C_2)

$$C_0 = \frac{f_2^2 \cdot C_2 - f_1^2 \cdot C_1}{f_2^2 - f_1^2}$$

3. Metoda mostkowa (rys. 93)



Rys. 93

Mostek Maxwella-Wiena (układ *a*):

$$L_x = C_4 \cdot R_2 \cdot R_3; \qquad R_x = \frac{R_2}{R_4} R_3; \qquad Q_x = \omega \cdot R_4 \cdot C_4$$

Mostek Maxwella (układ *b*):

$$L_x = L_n \frac{R_3}{R_4}; \qquad R_x = R_n \frac{R_3}{R_4}; \qquad \operatorname{tg} \varphi_x = \frac{\omega L_x}{R_x}$$

POMIAR NAPIĘCIA ZA POMOCĄ OSCYLOGRAFU

Przy napięciu sinusoidalnym

$$h = \frac{2 \cdot U \cdot \sqrt{2}}{a} = 2.82 \frac{U}{a}$$

$$U = \frac{h \cdot a}{2 \cdot \sqrt{2}} = \frac{h \cdot a}{2,82}$$

$$a = \frac{2 \cdot U \cdot \sqrt{2}}{h} = 2,82 \frac{U}{h}$$

U – napięcie skuteczne [V]
h – całkowita wysokość krzywej od szczytu do szczytu [cm]
a – czułość oscylografu [V/cm]

PRĘDKOŚĆ STRUMIENIA ELEKTRONÓW

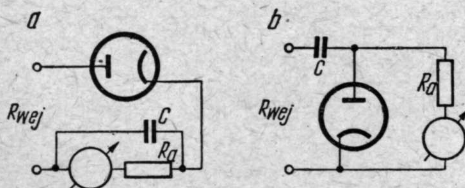
$$v = 6 \cdot 10^5 \sqrt{U}$$

U — napięcie anodowe [V]
v — prędkość [m/sek]

WOLTOMIERZ DIODOWY

Pojemność kondensatora

$$C = \frac{10^6}{f_d \cdot R_a}$$



Rys. 94

$$\left.\begin{array}{ll} \text{Układ } a\text{:} & R_{wej} = \dfrac{R_a}{2} \\ \text{Układ } b\text{:} & R_{wej} = \dfrac{R_a}{3} \end{array}\right\} \quad \begin{array}{l} \text{Dla } U_{wej} > 10 \text{ V} \\ R_a > 1000\, \varrho_a \end{array}$$

C — pojemność kondensatora [μF]
R_a — oporność robocza [Ω]
R_{wej} — oporność wejściowa [Ω]
f_d — dolna częstotliwość graniczna [Hz]

MOC WYJŚCIOWA ODBIORNIKA

$$P = \frac{U^2}{Z_a}$$

Przy mocy wyjściowej 50 mW

$$U \approx 7\sqrt{Z_a}$$

U — napięcie na uzwojeniu pierwotnym transformatora wyjściowego [V]
Z_a — oporność obciążenia stopnia końcowego [Ω]
P — moc wyjściowa [W]

POMIARY TŁUMIENIA

$$a = 20 \lg \frac{U_1}{U_2} = 20 \cdot \lg \frac{I_1}{I_2} = 10 \lg \frac{P_1}{P_2}$$

$$a' = \ln \frac{U_1}{U_2} = \ln \frac{I_1}{I_2} = 0{,}5 \cdot \ln \frac{P_1}{P_2}$$

$$1 \text{ dB} = 0{,}1151 \text{ N}; \qquad 1\text{N} = 8{,}686 \text{ dB}$$

a — tłumienie lub wzmocnienie w decybelach [dB]
a' — tłumienie lub wzmocnienie w neperach [N]
U_1 — napięcie wejściowe
U_2 — napięcie wyjściowe
I_1, I_2 — prąd na wejściu i wyjściu
P_1, P_2 — moc na wejściu i wyjściu

ANTENY

Antena nadawcza

$$R_p = \frac{P_p}{I^2_{max}}$$

Natężenie pola w warunkach idealnych

$$K = \frac{300\sqrt{P_p}}{r}$$

Natężenie pola przy uwzględnieniu pochłaniania fal (wzór przybliżony)

$$K = \frac{300}{r} \cdot P \cdot e^{-p}$$

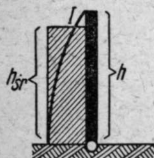
gdzie

$$p = k \cdot r \cdot \sqrt{f}$$

R_p — oporność promieniowania [Ω]
P_p — moc wypromieniowana [kW]
I_{max} — maksymalna wartość prądu w antenie
K — natężenie pola [V/m]
r — odległość od nadajnika [km]
f — częstotliwość pracy nadajnika [Hz]
k — stała charakteryzująca grunt (nad morzem $k \approx 1 \cdot 10^{-4}$; nad lądem $k \approx 5 \cdot 10^{-3}$).

WYSOKOŚĆ SKUTECZNA ANTENY

Wysokość fikcyjnej anteny, której wszystkie punkty mają jednakowe natężenie prądu (rys. 95).



Rys. 95

Dla anteny pionowej typu λ/4

$$h_{sk} = \frac{2}{\pi} \cdot h\,; \qquad U = K \cdot h_{sk}$$

Dla anteny ramowej

$$h_{sk} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot S}{\lambda}\,; \qquad U = K \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot S}{\lambda}$$

S — powierzchnia ramy [m²]
h — wysokość rzeczywista [m]
h_{sk} — wysokość skuteczna anteny [m]
n — liczba zwojów anteny
λ — długość fali [m]
K — natężenie pola [V/m]
U — napięcie na wejściu anteny [V]

SPRAWNOŚĆ ANTENY

Stosunek mocy promieniowanej P_{pr} do całkowitej mocy dostarczonej do anteny

$$\eta = \frac{P_{pr}}{P_{pr} + P_{str}}$$

OPORNOŚĆ CZYNNA ANTENY

$$R = R_{str} + R_{wej} + R_{pr}$$

Moc pobierana

$$P_{pr} = \frac{U^2}{R_{pr}}$$

R — całkowita oporność czynna [Ω]
R_{str} — oporność strat [Ω]
R_{wej} — oporność wejściowa odbiornika [Ω]
R_{pr} — oporność promieniowania [Ω]
P — moc czynna [W]
P_{pr} — moc promieniowana [W]

OPORNOŚĆ PROMIENIOWANIA

Oporność promieniowania anteny pionowej ($h_{sk} \ll \lambda$)

$$R_{pr} = 500 \cdot \pi \left(\frac{l_{sk}}{\lambda}\right)^2$$

Oporność promieniowania dipola:

$$R_{pr} = 250 \cdot \pi \left(\frac{l_{sk}}{\lambda}\right)^2$$

Oporność promieniowania anteny ramowej:

$$R_{pr} = 640 \cdot \pi^4 \left(\frac{n \cdot S}{\lambda^2}\right)^2$$

R_{pr} — oporność promieniowania [Ω]
h_{sk} — wysokość skuteczna [m]
λ — długość fali [m]
l_{sk} — długość skuteczna [m]
n — liczba zwojów anteny ramowej
S — powierzchnia ramy [m²]

TŁUMIENIE ANTENY

Tłumienie anteny uziemionej:

$$\delta = \frac{R}{Z}$$

Tłumienie dipola:

$$\delta = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}} = \frac{R}{2 \cdot Z}$$

R — oporność czynna anteny [Ω]
Z — oporność falowa [Ω]
δ — tłumienie
L — indukcyjność anteny [H]
C — pojemność anteny [F]

OPORNOŚĆ FALOWA

Oporność falowa anteny krótkiej:

$$Z = 60 \ln \frac{4 \cdot h_{sk}}{d}; \qquad l_{opt} = 0{,}0178 \cdot \lambda \cdot \sqrt{R}$$

Oporność falowa dipola $\lambda/2$:

$$Z = 120 \ln \left[\frac{l_{sk}}{d} - 0{,}65\right]; \qquad l_{sk} = \frac{2}{\pi} \cdot l$$

Długość dipola stosowana w praktyce

$$l = 0{,}95 \frac{\lambda}{2}$$

Współczynnik 0,95 skraca wymiary anteny ze względu na mniejszą prędkość rozchodzenia się fal w przewodzie antenowym.

Wielkości charakteryzujące antenę podczas rezonansu:

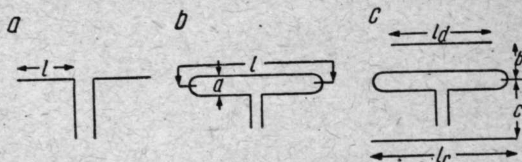
$$C_d = \frac{2}{\pi} \cdot C; \qquad L_d = \frac{2}{\pi} \cdot L; \qquad \lambda_0 = 2 \cdot \pi \sqrt{L_d \cdot C_d}$$

Szerokość pasma przenoszonego przez dipol $\lambda/2$:

$$B = \frac{f_{rez}}{Q}; \qquad Q = 1{,}3\left[\ln\left(\frac{\lambda}{d}\right) - 1\right]$$

R — oporność czynna anteny [Ω]
d — średnica drutu [cm]
l_{opt} — optymalna długość [m]
l_{sk} — skuteczna długość dipola [m]
l — długość dipola [m]
C — pojemność statyczna [F]
C_d — pojemność dynamiczna [F]
L — indukcyjność statyczna [H]
L_d — indukcyjność dynamiczna [H]
λ_0 — fala własna anteny [m]
B — szerokość pasma [Hz]
Q — dobroć
f_{rez} — częstotliwość własna [Hz]

WZORY PRZYBLIŻONE DLA DIPOLI UKF



Rys.96

(dla f > 55 MHz)

Dipol prosty (rys. 96*a*):

$$l = 0{,}47\,\lambda = \frac{141}{f}$$

Dipol pętlowy (rys. 96*b*):

$$a \approx \frac{\lambda}{60} \approx \frac{5}{f}$$

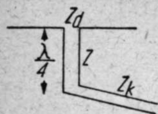
Antena złożona z reflektora i direktora (*R* + *D*) (rys. 96*c*):

$$l_d = 0{,}46\cdot\lambda = \frac{138}{f}; \qquad l_r = 0{,}5\cdot\lambda = \frac{150}{f}$$

$$b = 0{,}1\cdot\lambda\cdot = \frac{30}{f}; \qquad c = 0{,}15\cdot\lambda = \frac{45}{f}$$

λ — długość fali [m] f — częstotliwość [MHz]

DOPASOWANIE DIPOLA ZA POMOCĄ LINII $\lambda/4$ (rys. 97)

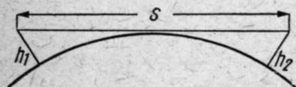


Rys. 97

$$Z^2 = Z_d \cdot Z_k \,; \qquad Z = \sqrt{Z_d \cdot Z_k}$$

Z — oporność falowa linii dopasowującej
Z_d — oporność falowa dipola
Z_k — oporność falowa kabla

ZASIĘG



Rys. 98

(Dla fal decymetrowych) (rys. 98)

$$s = 3{,}6\,(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

Antena odbiornika u powierzchni ziemi:

$$s = 3{,}6\,\sqrt{h_1}\,; \qquad h_1 = \frac{s^2}{13}$$

s — zasięg odbioru [km]
h_1 — wysokość anteny nadajnika [m]
h_2 — wysokość anteny odbiornika [m]

KABLE

OPORNOŚĆ FALOWA KABLI UKF

Opornością falową nazywamy stosunek napięcia do prądu dla fali bieżącej w kablu

$$\hat{Z} = \sqrt{\frac{R_1 + j \cdot \omega \cdot L_1}{G_1 + j \cdot \omega \cdot C_1}} = \frac{\hat{U}}{\hat{I}}$$

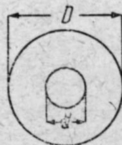
Dla kabli o małym tłumieniu ($R = 0$, $G = 0$)

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{U}{I}\left[\Omega, \frac{\mathrm{H}}{\mathrm{m}}, \frac{\mathrm{F}}{\mathrm{m}}\right]; \qquad Z = 1000\sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$L = \frac{Z^2 \cdot C}{10}; \qquad C = \frac{L \cdot 10^6}{Z^2}$$

$\hat{Z}, Z$ — oporność falowa
R_1 — oporność składowa czynna
G_1 — przewodność składowa czynna
L_1 — indukcyjność składowa
C_1 — pojemność składowa
L — indukcyjność na jednostkę długości [μH/m]
C — pojemność na jednostkę długości [pF/m]

KABEL WSPÓŁOSIOWY



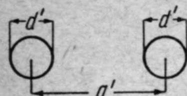
Rys. 99

$$Z = \frac{138}{\sqrt{\varepsilon}} \cdot \lg \frac{D}{d}$$

$$C = 0{,}24 \frac{\varepsilon \cdot l}{\lg \frac{D}{d}}$$

$$L = 0{,}0046 \cdot \mu \cdot l \cdot \lg \frac{D}{d}$$

KABEL PŁASKI (rys. 100)



Rys. 100

$$Z = \frac{276}{\sqrt{\varepsilon}} \cdot \lg \frac{2 \cdot a'}{d'} \quad (\text{dla } a' : d' > 2{,}5)$$

$$C = 0{,}12 \cdot \frac{\varepsilon \cdot l}{\lg \cdot \frac{2 \cdot a'}{d'}}; \qquad L = 0{,}009 \cdot \mu \cdot l \cdot \lg \frac{2 \cdot a'}{d'}$$

d' — średnica przewodu w kablu płaskim [cm]
a' — średnia odległość między przewodami w kablu płaskim [cm]
D — zewnętrzna średnica przewodu wewnętrznego [cm]
d — wewnętrzna średnica przewodu zewnętrznego [cm]
ε — przenikalność dielektryczna względna (dla powietrza $\varepsilon = 1$)
l — długości [cm]
C — pojemność [pF]
L — indukcyjność [μH]
μ — przenikalność magnetyczna
Z — oporność falowa [Ω]

TŁUMIENIE KABLA

$$a = \frac{\alpha \cdot l}{1000}$$

Długość graniczna

$$l_{gr} = \frac{350}{\alpha}$$

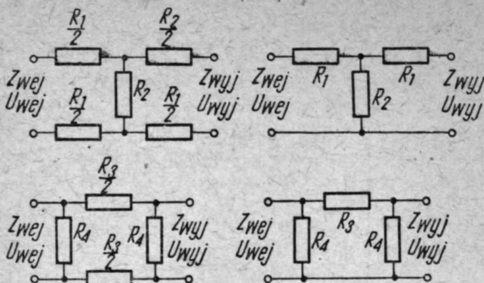
Długość połowy wartości tłumienia

$$l_{50\,\%} = \frac{700}{\alpha}$$

a — tłumienie w neperach [N]
α — tłumienie na kilometr $\left[\frac{\text{N}}{\text{km}}\right]$
l — długość kabla [m]
l_{gr} — długość graniczna spadek napięcia o 70% [m]
$l_{50\%}$ — długość połowy wartości tłumienia (spadek napięcia o 50%) [m]

TŁUMIKI

$$d = \frac{U_{wej}}{U_{wyj}} \quad (\text{założenie } Z_{wej} = Z_{wyj} = Z)$$



Rys. 101

$$R_1 = Z \cdot \frac{d-1}{d+1} \qquad R_3 = Z \cdot \frac{d^2-1}{2d}$$

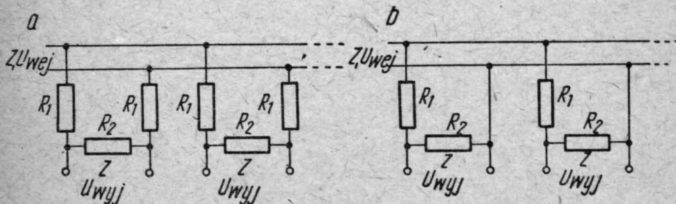
$$R_2 = Z \cdot \frac{2d}{d^2-1} \qquad R_4 = Z \cdot \frac{d+1}{d-1}$$

d — żądany stosunek napięć
U_{wej} — napięcie wejściowe [V]
U_{wyj} — napięcie wyjściowe [V]
R_1, R_2, R_3, R_4 — oporności tłumika [Ω]
Z_{wej} — oporność wejściowa tłumika [Ω]
Z_{wyj} — oporność wyjściowa tłumika [Ω]

ODGAŁĘZIENIA O STAŁYM DOPASOWANIU

(wejście i wyjście powinny być zwarte jednakową opornością Z)

a) Dzielnik symetryczny (rys. 102a)



Rys. 102

$$R_1 = Z \cdot \frac{n(n-1)}{2 \cdot n - 1}; \qquad R_2 = Z \cdot \frac{n}{n-1}; \qquad d = \frac{U_{wej}}{U_{wyj}} = 2 \cdot n - 1$$

b) Dzielnik niesymetryczny (rys. 102*b*)

$$R_1 = 2 \cdot Z \frac{n(n-1)}{2n-1}; \qquad R_2 = Z \cdot \frac{n}{n-1}$$

n — liczba wyjść
Z — oporność falowa wejścia i wyjścia [Ω]
R_1, R_2 — oporność czynna [Ω]
d — tłumienie napięcia
U_{wej} — napięcie wejściowe [V]
U_{wyj} — napięcie wyjściowe [V]

DODATEK

PODZIAŁ CZĘSTOTLIWOŚCI

Współczesna radiotechnika stosuje prądy przemienne o częstotliwości od kilkudziesięciu kHz do kilkuset GHz, którym odpowiadają długości fal od kilkunastu km do kilkunastu mm. Czynione są również próby zastosowania w radiokomunikacji fal świetlnych, których częstotliwości są rzędu 5×10^{19} Hz, a długości fal rzędu kilkuset nanometrów (1 nm = $= 10^{-9}$ m = 0,000 000 001 m).

Ponieważ dotychczas nazwy nie są zbyt jasne, a tym samym wygodne w stosowaniu Międzynarodowy Komitet Doradczy do Spraw Radiokomunikacji (CCIR) opracował nowe nazwy zakresów fal oparte na jednostce długości „metr" oraz przedrostkach wielokrotnych i podwielokrotnych do tej jednostki. Są one znacznie jaśniejsze od nazw stosowanych dotychczas i dlatego, zgodnie z zaleceniami CCIR, należy je stosować powszechnie.

Nowe nazwy zakresów fal i częstotliwości

Częstotliwość	Długość fali	Nowa nazwa zakresów fal	Dawne nazwy zakresów fal lub częstotliwości					
			polskie		angielskie		niemieckie	
			skrót	nazwa	skrót	nazwa	skrót	nazwa
3...30 kHz	100...10 km	F. myriametrowe	–	–	VLF	very low frequency	–	–
30...300 kHz	10...1 km	F. kilometrowe	FD	F. długie	LF	low frequency	LW	Langwellen
300...3000 kHz	1000...100 m	F. hektometrowe	FŚ	F. średnie	MF	medium frequency	MW	Mittelwellen

c. d.

Częstotliwość	Długość fali	Nowa nazwa zakresów fal	Dawne nazwy zakresów fal lub częstotliwości					
			polskie		angielskie		niemieckie	
			skrót	nazwa	skrót	nazwa	skrót	nazwa
3 ... 30 MHz	100 ... 10 m	F. dekametrowę	FK	F. krótkie	HF	high frequency	KW	Kurzwellen
30 ... 300 MHz	10 ... 1 m	F. metrowe	UKF	F. ultrakrótkie	VHF	very high frequency	UKW	Ultrakurzwellen
300 ... 3000 MHz	10 ... 1 dcm	F. decymetrowe	—	—	UHF	ultrahigh frequency	—	—
3 ... 30 GHz	10 ... 1 cm	F. centymetrowe	—	—	SMF	super high frequency	—	—
30 ... 300 GHz	10 ... 1 mm	F. milimetrowe	—	—	EHF	extremely high frequency	—	—

WIDMO FAL ŚWIETLNYCH

Długość fali Å (10^{-8} cm)	Częstotliwość × 10^{12} Hz	Linia widmowa	Barwa
7608	395	A	czerwona
6867	437	B	jasnoczerwona
6563	458	C	pomarańczowa
5890	509	D	żółta
5270	570	E	zielona
4861	616	F	jasnozielona
4308	695	G	niebieska
3968	752	H	fioletowa

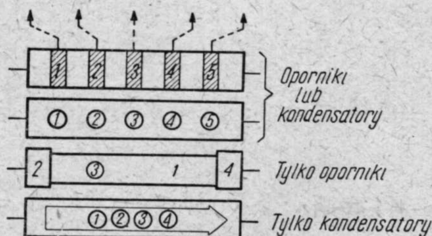
NAJWAŻNIEJSZE PARAMETRY NORM TELEWIZYJNYCH

Norma telewizyjna		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Liczba linii		625	625	819	441	625	819	405	525	625
Częstotliwość pól	Hz	50	50	50	50	50	50	50	60	50
Częstotliwość linii	Hz	15625	15625	20475	11025	15625	20475	10125	15750	15625
Wygaszanie linii	%	18	18	16	17	17	17	17	16	18
Wygaszanie pola	%	6	6	10	7	6	6	7	5	6
Format obrazu		4:3	4:3	4,12:3	4:3	4:3	3:3	4:3	4:3	4:3
Szerokość kanału	MHz	7	8	13,15	5	7	7	5	6	6
Szerokość kanału wizji	MHz	5	6	10,6	3	5	5	3	4	4
Odległość ton-obraz	MHz	5,5	6,5	11,15	3,5	5,5	5,5	3,5	4,5	4,5
Tłumiona wstęga		dolna	dolna	górna	górna	górna	górna	górna	dolna	dolna
Modulacja obrazu		AM neg.	AM neg.	AM poz.	AM poz.	AM poz.	AM poz.	AM poz.	AM neg.	AM neg.
Poziom synchronizacji	%	100	100	3	0	3	3	0	100	100
Poziom czerni	%	75	75	25	30	25	25	30	75	75
Poziom bieli	%	10	10	100	100	100	100	100	15	10
Modulacja dźwięku		FM	FM	AM	AM	AM	AM	AM	FM	FM
Dewiacja częstotliwości	kHz	50	50	—	—	—	—	—	25	25

I – Korma CCIR (Gerbera)
II – Norma OIRT
III – Norma francuska I
IV – Norma francuska II
V – Norma belgijska I
VI – Norma belgijska II
VII – Norma angielska
VIII – Norma amerykańska
IX – Norma argentyńska

MIĘDZYNARODOWY KOD KOLORÓW

Barwa	1. pierścień lub punkt = 1. cyfra	2. pierścień lub punkt = 2. cyfra	3. pierścień lub punkt		4. pierścień lub punkt. Tolerancja	5. pierścień w kondensatorach. Napięcie robocze
			liczba zer	zakres wartości		
Czarna	0	0	—	1...99 pF, Ω		
Brązowa	1	1	0	100...99 pF, Ω	±1%	100 V
Czerwona	2	2	00	1...9,9 nF, kΩ	±2%	200 V
Pomarańczowa	3	3	000	10...99 nF, kΩ		300 V
Żółta	4	4	0000	100...990 nF, kΩ		400 V
Zielona	5	5	00000	1...9,9 μF, MΩ	±5%	500 V
Niebieska	6	6	000000	10...99 μF, MΩ		600 V
Fioletowa	7	7	7			700 V
Szara	8	8	8			800 V
Biała	9	9	9			900 V
Złota			x0,1	0,1...9,9 pF, Ω		1000 V
Srebrna			x0,01	0,01...0,99 pF, Ω	±10%	2000 V
Bez barwy					±20%	500 V



Rys. 103

NOMOGRAM OPORNOŚCI

$U : I = R$ $\quad U \cdot R = I$ $\quad I \cdot R = U$

$P = U \cdot I$ $\quad P = I^2 \cdot R$ $\quad P = U^2 : R$ $\quad$ [V, A, Ω, W]

NOMOGRAM OPORNOŚCI

1000
I (mA)
100
10
1
0,1

1W
0,5W
0,2W
0,1W
50mW
20mW
10mW
5mW
2mW
1mW

10Ω 20Ω 50Ω 100Ω 200Ω 500Ω 1kΩ 2kΩ 5kΩ 10kΩ

1kW 500W 200W 100W 50W 20W 10W 5W 2W 1W

10kΩ 20kΩ 50kΩ 100kΩ 200kΩ 500kΩ 1MΩ 2MΩ 5MΩ 10MΩ

1 10 100 1000 U(V) 10000

Rys. 104

NOMOGRAM OPORNOŚCI BIERNYCH

100kHz 1MHz 10MHz 100MHz 1000MHz

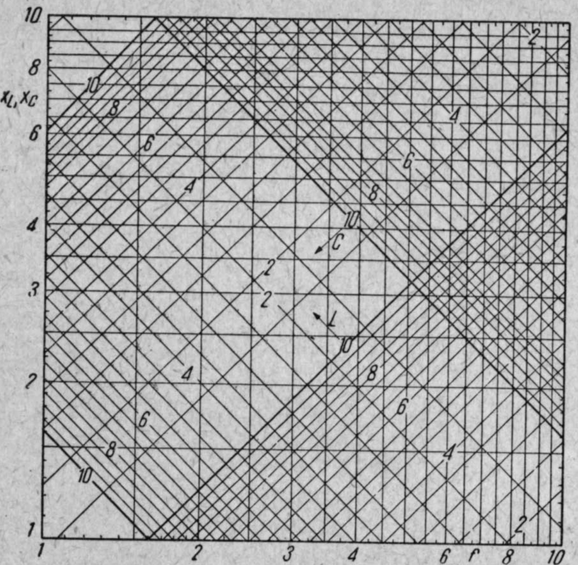
1MΩ
1H
100kΩ
100mH
10kΩ
10mH
1kΩ
1mH
100Ω
100μH
10Ω
10μH
1Ω

1mpf
10mpf
100mpf
1pf
10pf
100pf

1μH 1μF 100nH 100nF 10nH 10nF 1nH 1nF

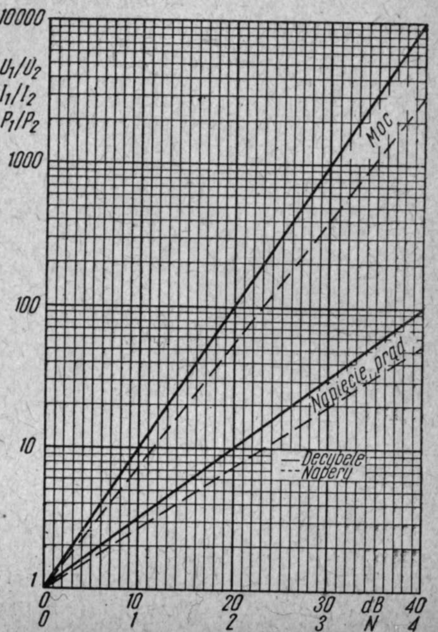
Rys. 105

NOMOGRAM L, C, X_L, X_C, f



Rys. 106

NOMOGRAM DECYBELI I NEPERÓW



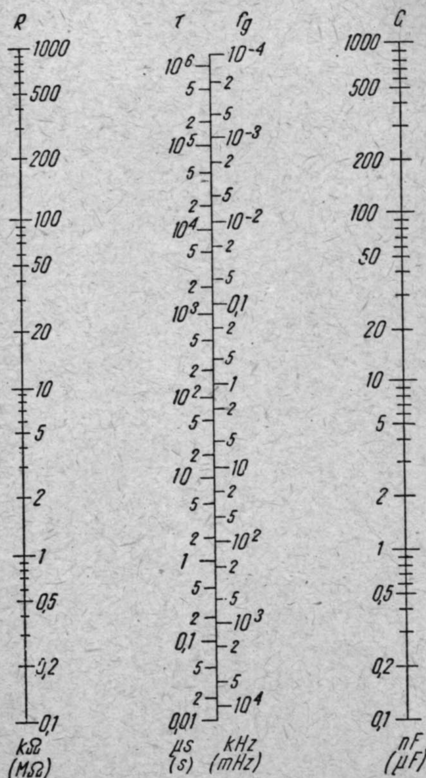
Rys. 107

Poziom bezwzględny: Poziom zerowy= 1 mW na 600 Ω

0 N	= 775 mV	lub	1,29 mA	lub	1 mW na 600 Ω
1 N	= 2,1 V		3,5 mA		7,39 mW na 600 Ω
0 dB	= 775 mV		1,25 mA		1 mW na 600 Ω
10 dB	= 2,45 V		4,08 mA		10 mW na 600 Ω

NOMOGRAM *RC*

Stała czasowa $\tau\ R \cdot C$ [s,Ω,F]



Rys. 108

CZĘSTOTLIWOŚĆ GRANICZNA

$$f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \tau} \quad [\text{Hz, s}]$$

ZESTAWIENIE WAŻNIEJSZYCH TYPÓW LAMP

Typ lampy	Lampa zastępcza	Typ lampy	Lampa zastępcza
ACS 5	RS 2793	CV 753	1 A 3
AG 5209	STV 85/10	CV 782	DK 91
AG 5210	STV 108/30	CV 784	DAF 91
AG 5211	STV 150/30	CV 785	DF 91
ASG 5121	2 D 21	CV 797	2 D 21
ASG 5696	5696	CV 818	3 Å 4
ASG 5823	5823	CV 820	DL 82
ASG 5823 A	5823 A	CV 850	5654
ASG OA-4	OA 4-G	CV 932	2 C 40
B 1135	RS 630	CV 1350	RS 630
C 1108	RS 685	CV 1351	RS 631
C 1112	RS 686	CV 1352	EM 80
CCa	E 88 CC	CV 1375	EF 85
CK 546 DX	DL 651	CV 1376	EF 80
CK 549 DX	DF 651	CV 1535	EZ 80
CK 5672	5672	CV 1633	DL 94
CK 5678	5678	CV 1741	EL 34
CK 5886	DF 703	CV 1795	723 A/B
CV 140	EAA 901 S	CV 1832	OA 2
CV 283	EAA 901 S	CV 1833	OB 2
CV 426	EY 51	CV 1862	6005
CV 449	OG 3	CV 1868	MF 13-39
CV 453	6 BE 6	CV 1928	12 BA 6
CV 454	6 BA 6	CV 1961	12 AU 6
CV 455	ECC 801 S	CV 1971	DF 91
CV 484	DL 92	CV 1992	OA 4 G
CV 491	ECC 802 S	CV 2004	EAA 901 S
CV 492	ECC 803 S	CV 2005	EAA 901 S
CV 718	MP 13-39	CV 2007	ECC 802 S
CV 720	723 A/B	CV 2011	ECC 802 S

Typ lampy	Lampa zastępcza	Typ lampy	Lampa zastępcza
CV 2016	ECC 801 S	CV 3512	5696
CV 2020	5654	CV 3522	RS 687
CV 2024	6 BE 6	CV 3852	RS 285
CV 2026	6 BA 6	CV 3855	RS 329
CV 2128	ECH 81	CV 3998	E 180 F
CV 2130	RS 685	CV 4003	ECC 802 S
CV 2131	RS 686	CV 4004	ECC 803 S
CV 2132	FZ 9011 V	CV 4007	EAA 901 S
CV 2133	FZ 9012 G	CV 4009	6 BA 6 W
CV 2134	FZ 9012 V	CV 4010	5654/6 AK 5 W
CV 2237	1 AD 4	CV 4012	6 BE 6
CV 2238	5672	CV 4016	ECC 802 S
CV 2239	5676	CV 4019	6005/6 AQ 5 W
CV 2254	5678	CV 4023	6 AU 6
CV 2270	FZ 9011 G	CV 4024	ECC 801 S
CV 2370	DL 92	CV 4025	EAA 901 S
CV 2492	E 88 CC	CV 5008	6080
CV 2507	DF 904	CV 5055	EM 81
CV 2516	2 C 39 A	CV 5065	ECF 82
CV 2524	6 AU 6	CV 5072	EZ 81
CV 2526	6 AV 6	CV 5077	PL 81
CV 2643	2 C 40	CV 5092	EF 800
CV 2726	EL 803	CV 5093	EL 803
CV 2792	2 K 25	CV 5094	EL 86
CV 2877	5654	CV 5156	EF 89
CV 2882	EAA 901 S	CV 5212	ECC 801 S
CV 2883	6005	CV 5214	E 90 CC
CV 2901	EF 806 S	CV 5215	ECF 80
CV 2964	RS 686	CV 5231	E 88 CC
CV 2966	EY 86	CV 5232	C 3 m
CV 2975	EL 84	CV 5331	ECC 189
CV 2980	DM 70	CV 5354	E 188 CC
CV 2983	DL 94	CV 5358	ECC 88
CV 2984	6080	CV 5434	EM 84
CV 3508	ECC 801 S	DA 90	1 A 3

Typ lampy	Lampa zastępcza	Typ lampy	Lampa zastępcza
DB 7-18	D7-15 BG	QQE D2/5	6939
DB 7-18A	D7-15 GJ	QQE 03/12	6360
DB 13, 78	DB 13-58	QQE 03/20	6252
DF 60	5678	QY 3-125	RS 685
DF 62	1 AD 4	QY 4-250	RS 686
DG 7-18	D7-15 GH	QY 5-500	RS 687
DH 13-78	DG 13-58	T 54 P 1	DG 13-58
DN 7-18	D7-15 GL	T 54 P 2	DN 13-58
DN 13-78	DN 13-58	T 54 P 11	DB 13-58
DL 620	5672	TB 2,5/400	RS 614
DP 7-18	D7-15 GM	TB 3/750	RS 630
E 81 CC	ECC 801 S	TB 4/1250	RS 631
E 82 CC	ECC 802 C	TB 5/2500	RS 635
E 83 CC	ECC 803 S	TH 2225	2 K 25
E 86 C	EC 806 S	TS 49	C 3 m
E 88 C	8255	TY 3-250	RS 630
E 91 AA	EAA 901 S	TY 4-500	RS 631
E 91 H	EH 900 S	Z 719	EF 80
E 95 F	5654	Z 729	EF 86
E 1955	2 D 21	ZZ 1020	STV 85/8
ECC 960	E 90 CC	ZZ 1030	STV 500/0,1
ECC 962	E 92 CC	1 AB 6	DK 96
EF 861	E 180 F	1 AC 6	DK 92
EF 905	5654	1 AH 5	DAF 96
KS 9-20	723 A/B	1 AJ 4	DF 96
KS 9-20 A	2 K 25	1 AN 5	DF 97
ME 1100	723/A/B	1 C 1	DK 91
OA 2	STV 150/30	1 C 2	DK 92
OB 2	STV 108/30	1 C 3	DK 96
OG 3	STV 85/10	1 CP 11	DB 3 91
PL 21	2 D 21	1 CP 31	DH 3 91
PL 1267	OA 4-G	1 F 1	DF 96
QB 3/300	RS 685	1 F 3	DF 91
QB 3,5/750	RS 686	1 FD 1	DAF 96
QB 5/1750	RS 687	1 FD 9	DAF 91

Typ lampy	Lampa zastępcza	Typ lampy	Lampa zastępcza
1 M 1	DM 70	6 AK 8	EABC 80
1 M 3	DM 70	6 AL 5	EAA 91
1 N 3	DM 71	6 AL 5 W	57 26
1 P 1	DL 96	6 AN 7	(ECH 81)
1 P 10	DL 92	6 AQ 8	ECC 85
1 P 11	DL 94	6 AS 7 G	(6080)
1 P 23	(3554)	6 AV 6	EBC 91
1 P 32	(3546 PW)	6 BD 7	(EBC 81)
1 R 5	DK 91	6 BD 7 A	EBC 81
1 S 2	DY 86	6 BE 7	EQ 80
1 S 2 A	(DY 96)	6 BH 5	(EF 89)
1 S 5	DAF 91	6 BH 6	(E 90 F)
1 T 4	DF 91	6 BJ 6	(E 99 F)
1 U 4	DF 904	6 BL 8	ECF 80
1 X 2 A	(DY 86)	6 BM 8	ECL 82
1 X 2 B	(DY 86)	6 BQ 5	EL 84
2 B 35	EA 50	6 BR 5	EL 84
2 D 21 W	5727	6 BT 4	EZ 40
2 D 21 WA	5727	6 BT 6	(EBC 91)
3 ALP 1	DG 7 5	6 BW 7	(EF 80)
3 ALP 7	DP 7 5	6 BX 6	EF 80
3 ALP 11	DB 7 5	6 BX 7	EF 85
3 AMP 1	DG 7 32	6 C 9	(ECH 42)
3 AZP 31	DHM 9 11	6 C 10	ECH 42
3 BKP 31	DH 7 78	6 C 12	ECH 81
3 C 4	DL 96	6 C 16	ECF 80
3 E 5	(DL 96)	6 CA 4	EZ 81
3 S 4	DL 92	6 CA 7	EL 34
3 V 4	DL 94	6 CD 7	EM 34
3 WP 1	DG 7 36	6 CJ 5	EF 41
3 WP 11	DB 7 36	6 CK 5	EL 41
4 CM 4	PC 86	6 CM 4	EC 86
6 AJ 8	ECH 81	6 CS 6	EH 90
6 AK 5	(5654)	6 CT 7	EAF 42
6 AK5 W	5654	6 CU 7	ECH 42

Typ lampy	Lampa zastępcza	Typ lampy	Lampa zastępcza
6 CV 7	EBC 41	6 N 8 K	(EBF 89)
6 CW 5	EL 86	6 P 15	EL 84
6 D 1	EA 50	6 Q 4	EC 80
6 D 2	(EAA 91)	6 R 4	EC 81
6 D 4	(PL 21)	6 S 2	EY 86
6 DA 6	EF 89	6 S 2 A	(EY 86)
6 DC 8	EBF 89	6 T 8	(EABC 80)
6 DJ 8	(E88 CC)	(ECF)	
6 DL 5	EL 95	6 V 4	EZ 80
6 DR 8	EBF 83	6 W 2	(EY 51)
6 DS 8	EBF 83	6 X 2	EY 51
6 EC 7	(EF 89)	7 AHP 1	DG 16 22
6 EH 7	EF 183	7 AHP 71	DP 16 22
6 EJ 7	EF 184	7 AHP 11	DB 16 22
6 ES 6	EF 97	7 AN 7	PCC 84
6 ET 6	EF 98	7 DE 7	(EF 80)
6 F 1	(EF 42)	7 DJ 8	PCC 88
6 F 13	(EF 42)	7 ES 8	PCC 189
6 F 16	EF 41	7 F 16	EF 41
6 F 18	(EF 89)	7 FC 7	(PCC 189)
6 F 19	EF 89	8 A 1	DG 7 36
6 F 20	(EF 85)	8 D 8	(DF 86)
6 FG 6	EM 84	9 A 8	PCF 80
6 FW 8	(E88 CC)	9 AB 4	UC 92
6 GM 8	ECC 89	9 AK 8	PABC 80
6 GW 8	ECL 89	9 AQ 8	PCC 85
6 L 6 G/GB	(EL 34)	9 D 7	(EF 85)
6 L 12	ECC 85	9 RP 33	AL 22-12
6 L 13	ECC 83	9 U 8	PCF 82
6 L 19	(ECC 40)	10 C 14	UCH 81
6 LD 3	EBC 41	10 F 1	(UF 42)
6 LD 12	EABC 80	10 F 3	(UF 42)
6 M 2	EM 34	10 F 9	(UF 41)
6 M 5	(EL 84)	10 F 18	(UF 89)
6 N 8	EBF 80	10 FD 12	UBF 89

Typ lampy	Lampa zastępcza	Typ lampy	Lampa zastępcza
10 L 14	UCC 85	17 DYP 4	(AW 43-89)
10 LD 3	UBC 41	17 Z 3	PY 81
10 LD 12	UABC 80	19 BD	PY 80
10 LD 14	UCC 85	19 BR 5	UM 80
10 M 2	UM 4	19 BY 7	UF 85
10 P 18	UL 84	19 D 8	UCH 81
10 PL 12	UCL 82	19 FL 8	UBF 89
12 AC 5	UF 41	19 SU	PY 82
12 AD 5	(UF 89)	19 X 3	PY 80
12 AT 7	ECC 81	19 Y 3	PY 82
12 AT 7 WA	6201	20 A 3	PL 21
12 AU 7	ECC 82	21 A 6	PL 81
12 AU 7 WA	ECC 186	21 AMP 4 A	(MW 53-80)
12 AX7	ECC 83	21 CJP 4	MW 53-20
12 S 7	UAF 42	21 CLP 4	AW 53-80
13 EC 7	(UF 89)	21 DAP 4	(AW 53-88)
14 G 6	(UBC 81)	21 DKP 4	(AW 53-88)
14 GW 8	PCL 86	21 EZP 4	(AW 53-88)
14 K 7	UCH 42	21 ZP 4 B	(MW 53-20)
14 L 7	UBC 41	24 AHP 4	(AW 61-88)
14 Y 7	(UCH 81)	24 AXP 4	(AW 61-88)
15 A 6	PL 83	24 CP 4 A	(MW 61-80)
15 CW 5	PL 84	25 E 5	PL 36
15 DQ 8	PCL 84	30 AE 3	PY 88
16 A 5	PL 82	30 C 1	PCF 80
16 A 8	PCL 82	30 F 5	(EF 80)
17 AVP 4	(AW 43-80)	30 L 1	PCC 84
17 AVP 4 A	(AW 43-80)	30 P 4	(PL 36)
17 BQP 4	MW 43-69	30 P 16	PL 82
17 BP 4 A/B	(MW 43-69)	30 P 18	PL 84
17 BTP 4	AW 43-80	30 PL 1	(PCL 82)
17 BZP 4	(AW 43-88)	30 PL 13	(PCL 82)
17 C 8	UBF 80	31 A 3	UY 41
17 CAP 4	(AW 43-88)	38 A 3	UY 85
17 CVP 4	(AW 43-88)	45 A 5	UL 41

Typ lampy	Lampa zastępcza	Typ lampy	Lampa zastępcza
45 B 5	UL 84	5965	(E 180 CC)
50 BM 8	UCL 82	6060	6201
52 KU	(GZ 34)	6084	E 80 F
53 KU	(GZ 34)	6085	E 80 CC
54 KU	(GZ 34)	6086	18 042
55 N 3	UY 82	6096	5654
62 DDT	EBC 41	6097	5726
62 TH	ECH 42	6186	(E 99 F)
62 VP	EF 41	6189	(ECC 186)
63 TP	ECL 80	6218	E 80 T
64 ME	EM 34	6227	E 80 L
64 SPT	EF 80	6267	EF 86
65 ME	EM 80	6370	E 1 T
66 KU	EZ 40	6375	DC 70
67 PT	EL 41	6474	(5820)
100 R	8020	6661	E 90 F
121 VP	UF 41	6662	E 99 F
141 DDT	UBC 41	6663	5726
141 TH	UCH 42	6686	E 81 L
163 Pen	PL 82	6687	E 91 H
171 DDP	UBF 80	6688	E 180 F
171 K	(MW 43-69)	6689	E 83 F
172 K	(MW 43-69)	6849	(5820)
212 K	MW 53-80	6922	E 88 CC
274 B	(GZ 34)	6923	EA 52
311 SU	UY 41	6977	DM 160
451 PT	UL 41	7025	(E 283 CC)
5687	(E 182 CC)	7036	(E 91 H)
5751	(E 283 CC)	7044	(E 182 CC)
5814	(ECC 196)	7062	E 180 CC
5861	EC 55	7119	E 182 CC
5879	(EF 86)	7293	(5820)
6889	(4068)	7308	E 188 CC
5915	(E 91 H)	7316	ECC 186
5920	E 90 CC	7534	E 130 L

Typ lampy	Lampa zastępcza	Typ lampy	Lampa zastępcza
7643	E 80 CF	7721	D 3 a
7693	E 90 F	7722	E 280 F
7694	E 99 F	7737	E 186 F

ZESTAWIENIE WAŻNIEJSZYCH TYPÓW TRANZYSTORÓW

Typ tranzystora	Typ zastępczy	Typ tranzystora	Typ zastępczy
1 N 34	OA 150	1 N 64 A	OA 159
1 N 34 A	OA 150	1 N 65	OA 150
1 N 38	OA 161	1 N 66	OA 150
1 N 38 A	OA 161	1 N 66 A	OA 150
1 N 43	OA 150	1 N 67	OA 150
1 N 44	OA 161	1 N 67 A	OA 150
1 N 45	OA 150	1 N 68	OA 161
1 N 46	OA 150	1 N 68 A	OA 161
1 N 47	OA 161	1 N 70	OA 161
1 N 48	OA 150	1 N 70 A	OA 161
1 N 49	OA 150	1 N 71	OA 174
1 N 50	OA 150	1 N 75	OA 161
1 N 51	OA 174	1 N 81	OA 174
1 N 62	OA 150	1 N 81 A	OA 174
1 N 52 A	OA 150	1 N 86	OA 150
1 N 54	OA 150	1 N 87	OA 160
1 N 54 A	OA 150	1 N 88	OA 150
1 N 57	OA 150	1 N 89	OA 150
1 N 58	OA 161	1 N 90	OA 150
1 N 58 A	OA 161	1 N 95	OA 182
1 N 60	OA 159	1 N 96	OA 182
1 N 61	OA 161	1 N 96 A	OA 182
1 N 63	OA 161	1 N 97	OA 182
1 N 63 A	OA 161	1 N 97 A	OA 182
1 N 64	OA 160	1 N 98	OA 182

Typ tranzystora	Typ zastępczy	Typ tranzystora	Typ zastępczy
1 N 99	OA 182	1 N 175	OA 161
1 N 99 A	OA 182	1 N 192	OA 186
1 N 100	OA 182	1 N 194 A	OA 129
1 N 103	OA 180	1 N 198	OA 150
1 N 104	OA 180	1 N 198 A	OA 150
1 N 107	OA 180	1 N 198 B	OA 182
1 N 108	OA 182	1 N 200	OA 127
1 N 111	OA 150	1 N 201	OA 127
1 N 112	OA 150	1 N 202	OA 127
1 N 113	OA 150	1 N 203	OA 127
1 N 114	OA 150	1 N 204	OA 127
1 N 115	OA 150	1 N 205	OA 127
1 N 116	OA 174	1 N 273	OA 182
1 N 116 A	OA 182	1 N 276	OA 182
1 N 117	OA 182	1 N 278	OA 182
1 N 119	OA 186	1 N 279	OA 182
1 N 120	OA 186	1 N 281	OA 180
1 N 126	OA 150	1 N 287	OA 182
1 N 127	OA 161	1 N 288	OA 182
1 N 127 A	OA 161	1 N 289	OA 182
1 N 128	OA 150	1 N 290	OA 161
1 N 128 A	OA 150	1 N 292	OA 182
1 N 132	OA 160	1 N 294	OA 150
1 N 135	OA 150	1 N 294 A	OA 150
1 N 137 A	OA 128	1 N 297	OA 150
1 N 137 B	OA 129	1 N 300	OA 127
1 N 138 A	OA 127	1 N 300 A	OA 127
1 N 138 B	OA 128	1 N 301 A	OA 129
1 N 139	OA 182	1 N 301 B	OA 129
1 N 140	OA 182	1 N 302 B	OA 131
1 N 141	OA 182	1 N 303 A	OA 130
1 N 142	OA 161	1 N 303 B	OA 130
1 N 143	OA 182	1 N 305	OA 182
1 N 144	OA 182	1 N 306	OA 180
1 N 145	OA 182	1 N 309	OA 182

Typ tranzystora	Typ zastępczy	Typ tranzystora	Typ zastępczy
1 N 312	OA 182	1 N 474	OA 126/6
1 N 314	OA 182	1 N 475	OA 126/7
1 N 350	OA 129	1 N 476	OA 150
1 N 351	OA 130	1 N 477	OA 150
1 N 352	OA 131	1 N 480	OA 186
1 N 353	OA 131	1 N 482	OA 128
1 N 354	OA 132	1 N 483	OA 129
1 N 355	OA 150	1 N 484	OA 130
1 N 379	OA 127	1 N 485	OA 131
1 N 380	OA 127	1 N 486	OA 131
1 N 381	OA 127	1 N 487	OA 132
1 N 382	OA 127	1 N 490	OA 186
1 N 383	OA 127	1 N 497	OA 180
1 N 432	OA 129	1 N 498	OA 182
1 N 432 A	OA 129	1 N 499	OA 182
1 N 433 A	OA 130	1 N 500	OA 182
1 N 433 B	OA 130	1 N 501	OA 182
1 N 434 B	OA 131	1 N 541	OA 172 E
1 N 435	OA 174	1 N 542	OA 172
1 N 447	OA 182	1 N 616	OA 159
1 N 449	OA 182	1 N 617	OA 150
1 N 452	OA 182	1 N 618	OA 150
1 N 454	OA 182	1 N 636	OA 174
1 N 456	OA 128	1 N 643	OA 131
1 N 457	OA 129	1 N 643 A	OA 131
1 N 457 M	OA 129	1 N 658	OA 130
1 N 458	OA 131	1 N 658 M	OA 130
1 N 460 A	OA 130	1 N 662 A	OA 130
1 N 460 B	OA 130	1 N 663	OA 130
1 N 461	OA 128	1 N 664	OA 126/8
1 N 461 A	OA 128	1 N 665	OA 126/12
1 N 468	OA 126/5	1 N 695	OA 180
1 N 469	OA 126/6	1 N 699	OA 182
1 N 470	OA 126/7	1 N 701	OA 126/10
1 N 473	OA 126/5	1 N 705	OA 126/5

Typ tranzystora	Typ zastępczy	Typ tranzystora	Typ zastępczy
1 N 706	OA 126/6	2 N 95	OD 603
1 N 707	OA 126/7	2 N 96	AC 122
2 N 34	AC 122	2 N 101	OD 603
2 N 36	AC 122	2 N 104	OC 604 spez.
2 N 37	AC 122	2 N 105	AC 122
2 N 38	AC 122	2 N 106	OC 604 spez.
2 N 38 A	AC 122	2 N 107	AC 122
2 N 39	AC 122	2 N 108	AC 122
2 N 40	AC 122	2 N 109	AC 117
2 N 41	AC 122	2 N 111	AF 101
2 N 42	AC 122	2 N 112	AF 101
2 N 43	OC 604 spez.	2 N 113	AF 101
2 N 43 A	OC 604 spez.	2 N 115	AC 122
2 N 44	OC 602 spez.	2 N 123	AF 101
2 N 45	OC 602 spez.	2 N 130	OC 602 spez.
2 N 46	AC 122	2 N 130 A	OC 602 spez.
2 N 54	OC 602 spez.	2 N 131	OC 604 spez.
2 N 55	OC 602 spez.	2 N 131 A	OC 604 spez.
2 N 56	OC 602 spez.	2 N 132	OC 604 spez.
2 N 59	OC 604 spez.	2 N 133	OC 604 spez.
2 N 60	OC 604 spez.	2 N 135	AF 101
2 N 61	OC 602 spez.	2 N 136	AF 101
2 N 63	AC 122	2 N 137	AF 101
2 N 64	AC 122	2 N 138	AC 117
2 N 65	AC 122	2 N 138 A	AC 117
2 N 68	OD 603	2 N 139	AF 101
2 N 71	OD 603	2 N 140	AF 101
2 N 76	AC 122	2 N 141	OD 603
2 N 77	AC 122	2 N 143	OD 603
2 N 79	AC 122	2 N 155	OD 603
2 N 80	AC 122	2 N 156	OD 603
2 N 82	AC 122	2 N 175	OC 604
2 N 83	OD 603	2 N 176	OD 603
2 N 83 A	OD 603	2 N 180	OC 604 spez.
2 N 84	OD 603	2 N 181	AC 117

Typ tranzystora	Typ zastępczy	Typ tranzystora	Typ zastępczy
2 N 185	OC 604 spez.	2 N 249	AC 117
2 N 186	OC 602 spez.	2 N 252	AF 101
2 N 186 A	AC 117	2 N 265	AC 122
2 N 187	OC 604 spez.	2 N 266	AC 122
2 N 187 A	AC 117	2 N 267	AF 105
2 N 188	OC 604 spez.	2 N 270	AC 117
2 N 188 A	AC 117	2 N 279	OC 602 spez.
2 N 189	AC 122	2 N 280	OC 604 spez.
2 N 190	AC 122	2 N 281	OC 604 spez.
2 N 191	AC 122	2 N 282	2×OC 604 spez.
2 N 192	AC 122	2 N 283	OC 602 spez.
2 N 196	AC 122	2 N 284	OC 602 spez.
2 N 197	AC 122	2 N 291	AC 117
2 N 198	AC 122	2 N 297	OD 603
2 N 199	AC 122	2 N 299	AF 134
2 N 206	AC 122	2 N 300	AF 135
2 N 207	AC 122	2 N 308	AF 101
2 N 207 A	AC 150	2 N 309	AF 101
2 N 207 B	AC 150	2 N 311	AC 117
2 N 215	OC 604 spez.	2 N 331	AC 117
2 N 217	AC 117	2 N 344	AF 105
2 N 218	AF 101	2 N 345	AF 105
2 N 219	AF 101	2 N 346	AF 134
2 N 220	AC 122	2 N 359	OC 604 spez.
2 N 223	AC 117	2 N 360	OC 604 spez.
2 N 224	AC 117	2 N 361	OC 604 spez.
2 N 225	2×AC 117	2 N 363	OC 604 spez.
2 N 226	AC 117	2 N 367	OC 602 spez.
2 N 227	2×AC 117	2 N 368	OC 602 spez.
2 N 237	OC 604 spez.	2 N 369	OC 604 spez.
2 N 238	OC 604 spez.	2 N 370	AF 136
2 N 241	OC 604 spez.	2 N 371	AF 105
2 N 241 A	AC 117	2 N 372	AF 105
2 N 247	AF 105	2 N 373	AF 105
2 N 248	AF 105	2 N 374	AF 105

Typ tranzystora	Typ zastępczy
2 N 402	OC 602 spez.
2 N 403	OC 602 spez.
2 N 405	OC 604 spez.
2 N 406	OC 604 spez.
2 N 407	OC 604 spez.
2 N 408	OC 604 spez.
2 N 409	AF 101
2 N 410	AF 101
2 N 411	AF 101
2 N 412	AF 101
2 N 422	OC 604 spez.
2 N 460	AC 117
2 N 461	AC 117
2 N 462	OC 604 spez.
2 N 464	OC 602 spez.
2 N 465	OC 604 spez.
2 N 466	OC 604 spez.
2 N 467	OC 604 spez.
2 N 504	AF 134
2 N 506	AC 122
2 N 519	OC 602 spez.
2 N 519 A	OC 602 spez.
2 N 544	AF 105
2 N 563	OC 602 spez.
2 N 564	OC 602 spez.
2 N 565	OC 604 spez.
2 N 566	OC 604 spez.
2 N 568	OC 604 spez.
2 N 591	AC 122
2 N 610	OC 604 spez.
2 N 611	OC 604 spez.
2 N 612	OC 602 spez.
2 N 613	OC 602 spez.
2 N 623	AF 134
2 N 633	OC 604 spez.
2 N 640	AF 105
2 N 641	AF 105
2 N 642	AF 105
2 N 650	AC 117
2 N 651 A	AC 117
2 N 652 A	AC 117
2 N 670	AC 117
2 N 680	AC 117
2 N 708	BSY 19
2 N 799	AF 101
2 N 914	BSY 21
2 N 915	BFY 27
2 N 1008	AC 117
2 N 1008 A	AC 117
2 N 1009	AC 117
2 N 1097	AC 117
2 N 1098	AC 117
2 N 1108	AF 136
2 N 1109	AF 105
2 N 1110	AF 136
2 N 1111	AF 105
2 N 1122	AF 105
2 N 1122 A	AF 105
2 N 1128	AC 117
2 N 1613	BSY 44
2 N 1893	BSY 45
2 N 2193	BSY 46

WYKAZ LITERATURY

1. O. Kronjäger „Formelsammlung für den Funkamateur"
2. G. Rose „Formelsammlung"
3. „Справочник Радиолюбителя"
4. S. Błażewski „Najważniejsze jednostki miar"
5. Н. И. Данилов „Единицы измерений"
6. I. Królikowski, C. Steckiewicz „Matematyka"
7. Limman-Hassel „Hilfsbuch für Hochfrequenztechniker"
8. Radioschau „Taschen-Handbuch"
9. „Telefunken-Laborbuch" t. I, II, III
10. „Valvo-Taschenbuch 1964"
11. „Telefunken-Taschenbuch 1964/65"
12. „Siemens-Taschenbuch 1964/65"
13. Philips „Interchangeability and replacement list of electron tubes 1962/63"

Cena zł 18,—



RADIOTECHNIKA — WZORY DEFINICJE OBLICZENIA